LETTURE SCIENTIFICHE
POPOLARI

DEL

Dr. E. MACH

Professore nell' Università di Vienna

Traduzione di A. BONGIOANNI

TORINO

FRATELLI BOCCA, EDITORI

MILANO - ROMA - FIRENZE

1900.

Torino — Vincenzo Bona, Tip. delle LL. MM. e dei RR. Principi.

PREFAZIONE

L'edizione completa delle mie " Letture scientifiche popolari „ fatta in Chicago nel 1895, per cura della " Open Court Publishing Company „ nell'ottima traduzione del Mac Cormack, suggerì agli editori di pubblicare questa raccolta anche in tedesco. In questa nuova forma l'opera è stata accresciuta di vari capitoli. Il capitolo 8 apparve la prima volta in inglese nella rivista " The Monist „ ed è un libero rifacimento di una parte del mio scritto " Della conservazione dell'energia „ (Praga, Calve, 1872); mi indussi a scrivere quest'articolo per desiderio del D[r] P. Carus, editore del " Monist „. L'ultimo scritto, nel quale io per la prima volta misi innanzi il mio criterio fondamentale nelle questioni fisiche, contiene nella sua forma originaria questioni troppo ardue per un lettore di letture popolari.

Si scuserà la grande differenza dei vari articoli quanto alla forma, al gusto, allo stile, all'indole, allo scopo, quando si pensi che essi comprendono un periodo di più che trent'anni. Del resto, non ho che da ripetere qui le parole dell'edizione inglese:

" Le letture popolari hanno un modesto valore istruttivo quando si abbia riguardo alla cultura che si presuppone nel lettore ed al tempo disponibile. A questo fine è necessario scegliere materie non troppo difficili, e restringersi all'esposizione delle parti più semplici e più essenziali. Nondimeno, nella scelta della materia si può trovar modo di far comprendere quello che c'è di romantico e di poetico nell'investigazione. Per riuscire in questo intento bisogna mettere in rilievo quello che c'è di attraente e di eccitante in un problema, e far vedere come la luce che irradia da un punto luminoso in apparenza trascurabile possa rischiarare una vasta cerchia di fatti.

" Siffatte letture possono anche avere un effetto utile mettendo in luce l'analogia esistente tra il pensiero scientifico ed il raziocinio comune. Il pubblico si spoglia così della sua avversione, rispetto alle questioni scientifiche, e si interessa alla ricerca, cosa che è tanto incoraggiante per lo studioso. E riguardo a questo riesce ovvio il concetto che egli col suo lavoro non rappresenta che una piccola parte dell'universale processo evolutivo, e che i risultati delle sue investigazioni non giovano soltanto a lui ed agli

altri studiosi della sua scienza, ma all'universale „.

Il fisico tedesco troverà nei seguenti studi, specialmente nel sopracitato scritto sulla conservazione dell'energia discussa più di una questione che più tardi e sotto altre denominazioni fu trattata da altri autori. Alcune di tali questioni sono in istretta relazione colla vivace discussione intorno all'energetica che si svolse nel Congresso dei Naturalisti a Lubecca. Ma da questa discussione io non ho potuto ricavare alcun argomento da mutare il mio modo di vedere.

Vienna, febbraio 1896.

E. MACH.

INDICE

I.

LE FORME DEI LIQUIDI

" Che credi tu che siano, o caro Eutifrone, le cose sante e le giuste e le buone? Le cose sante sono esse tali perchè piacciono agli dei, oppure gli dei sono santi perchè amano le cose sante? „ Tali erano le futili questioni, colle quali il saggio Socrate turbava l'*agorà* di Atene, menando bellamente per il naso i giovani politici e liberandoli dal peso di ciò che essi credevano sapere, col dimostrar loro quanto confusi, oscuri e contraddittorii fossero i loro concetti.

Voi conoscete la fine dell'importuno interrogatore. La buona società di quel tempo lo evitava, se mai lo incontrasse nelle sue passeggiate; solo gli ignoranti lo accompagnavano. In ultimo dovette bere il veleno, cosa che da molti anche oggidì si augura (è il meno che si faccia) a non pochi critici molesti come lui.

Ma ciò che da Socrate abbiamo imparato, ciò che di lui rimane, è la critica scientifica. Chiunque si occupi di scienza, non tarda ad accorgersi quanto vaghi ed indeterminati sieno i concetti che egli reca dalla

vita quotidiana, e come una attenta osservazione cancelli certe apparenti differenze, e ne metta in luce delle nuove. E la storia stessa della scienza ci fa vedere un continuo modificarsi, svilupparsi e chiarirsi dei concetti.

Noi non vogliamo trattenerci sopra questa considerazione generale intorno al variare dei concetti, cosa che può anche parere molesta, quando si pensi che tale variazione è quasi universale; noi vogliamo piuttosto, prendendo un esempio dalle scienze fisiche, dimostrare come una cosa si venga sempre più modificando, quanto più attentamente la si considera, e come essa appunto per questo assuma una forma sempre più determinata.

La maggior parte di voi crede di sapere esattamente che cosa sia un liquido e che cosa sia un solido. Ed appunto chi non si è mai occupato di fisica, ritiene che questa sia una questione delle più facili. Ma il fisico sa che questa è tra le questioni più difficili, e che è arduo determinare il limite tra i solidi e i liquidi. Ricorderò qui soltanto le ricerche del Tresca, dalle quali risulta che i corpi solidi, sottoposti ad un'alta pressione, si comportano in tutto come i liquidi, ad esempio che possono erompere in forma di un raggio da un orifizio aperto nel fondo del recipiente che li contiene.

Dalla forma appiattita della terra si suole dedurre che essa un tempo fosse allo stato liquido; questa deduzione è prematura se si pon mente a tali fatti. Una palla di qualche centimetro di diametro si appiattisce per effetto della rotazione solo quando sia di una sostanza molto molle, come l'argilla fresca, oppure affatto liquida. Ma la terra, benchè contenga rocce solidissime, deve risentire la pressione del proprio enorme peso, e necessariamente si comporterà come un liquido.

Anche l'altezza dei nostri monti non potrebbe oltrepassare un certo limite, senza sfasciarsi per effetto del proprio peso. È ammissibile che la terra fosse un tempo allo stato liquido, ma ciò non ha alcun rapporto di necessità col suo appiattimento. Le particelle di un liquido sono mobilissime; esso si adatta esattamente alla forma del vaso, non avendo forma propria, come vi hanno insegnato a scuola. Il liquido, che si adatta alla forma del recipiente fino ai minimi particolari, e che anche alla superficie, dove è affatto libero, non mostra altro che una faccia liscia come uno specchio, sorridente ed insignificante, è in natura quel che è tra gli uomini il perfetto cortigiano.

Il liquido non ha alcuna forma propria! Così è almeno per un osservatore superficiale. Ma chi ha osservato almeno una volta che una goccia di pioggia è rotonda e non mai quadrata, non ammetterà questa affermazione come un dogma indiscutibile.

In ciascun uomo, anche nel più nullo, noi possiamo ammettere l'esistenza di un carattere, sia pur negativo. Così anche il liquido avrebbe la sua forma propria, se la forza delle circostanze glielo permettesse, se esso non subisse la pressione del suo proprio peso.

Un astronomo sfaccendato ha fatto questo calcolo, che nel sole, anche fatta astrazione dalla temperatura poco piacevole, nessun uomo potrebbe vivere, perchè egli dovrebbe sfasciarsi per effetto del proprio peso. Cioè a dire che la maggior massa dei corpi celesti trae seco come necessaria conseguenza il maggior peso del corpo umano sopra di essi. Al contrario nella luna, poichè ivi saremmo molto più leggeri, colla nostra forza muscolare potremmo senza difficoltà far dei salti dell'altezza di una torre. Gli edifizi di sciroppo anche nella luna sono cose favolose; tuttavia nella luna lo sciroppo avrebbe un deflusso così lento che si potrebbe

per ischerzo fare un fantoccio di sciroppo, come da noi si fa un fantoccio di neve.

Se adunque in terra i liquidi non hanno forma propria, l'hanno forse nella luna o in qualche astro più piccolo e più leggero di essa. Si tratta soltanto di eliminare il peso, per concepire e conoscere la forma propria dei liquidi.

Questo concetto fu esposto sperimentalmente da Plateau in Gand. Egli immerge un liquido (olio) in un altro liquido dello stesso peso specifico, che è un miscuglio di acqua e di alcool. In questa mescolanza, conforme al principio di Archimede, l'olio perde tutto il suo peso; esso non si sfascia per effetto del proprio peso, e le forze che possono dargli una forma, per tenui che esse siano, possono agire liberamente.

In realtà noi vediamo con nostra meraviglia che l'olio, in luogo di stendersi in forma di strato o di costituire una massa informe, prende la forma di una bella e perfetta sfera, che si muove liberamente nel miscuglio come la luna nello spazio. Si può così fare una sfera d'olio di parecchi pollici di diametro.

Se ora in questa sfera si introduce un dischetto di filo metallico, si può far girare il filo tra le dita e con esso dare un moto rotatorio alla sfera di olio; questa nel girare si appiattisce, e si può anche far sì che da essa si distacchi un anello simile a quello di Saturno. Questo anello da ultimo si rompe e si suddivide in molte pallottoline, dandoci l'immagine della formazione del sistema planetario secondo la teoria di Kant e di Laplace.

Fenomeni anche più singolari si ottengono se in certo modo si perturbano le forze formatrici del liquido, ponendo un corpo solido a contatto colla superficie del liquido. Se ad esempio si immerge nel liquido un cubo costruito con filo di ferro, l'olio aderisce totalmente al filo, e se la massa è sufficiente si ottiene un cubo

d'olio colle pareti perfettamente piane. Se c'è troppo olio o troppo poco, le pareti del cubo rientrano, o restano vuote in proporzione. In modo affatto simile si

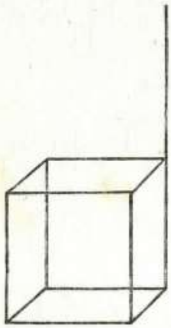


Fig. 1.



Fig. 1 *bis*.

possono formare coll'olio le più svariate figure geometriche, ad esempio una piramide triangolare, od un cilindro; in quest'ultimo caso si prende l'olio tra due anelli di filo di ferro.

Riesce interessante osservare l'alterarsi della forma di questo cubo o piramide d'olio, quando per mezzo di una cannuccia di vetro se ne tolga succhiando a poco a poco una parte dell'olio. Il filo mantiene la coesione della massa; la figura si viene riducendo nell'interno fino all'estrema sottigliezza. In ultimo esso rimane composto di un gran numero di laminette d'olio che cominciano dagli spigoli del cubo e nel mezzo di ciascuna faccia formano una gocciolina. Il somigliante avviene nella piramide.

È ovvio il pensare che una così sottile figura liquida, il cui peso è pur minimo, non può più essere deformata dal proprio peso, così come una pallottolina di argilla molle non subisce dal proprio peso alcuna deformazione. Ora noi non abbiamo più bisogno di un

miscuglio di acqua e di alcool per formarvi le nostre figure; noi possiamo ottenerle anche all'aria libera. Di fatto Plateau trovò che siffatte figure, od almeno molto somiglianti, si possono produrre anche all'aria libera, se si immerge per un istante il cubo di filo di ferro in una soluzione di sapone. L'esperimento non è difficile; la figura si fa da sè senza indugio. La figura 2 ci fa vedere l'aspetto che si ottiene dal cubo e dalla piramide. Nel cubo abbiamo sottili pellicole di sapone che convergono nell'interno ad una piccola pellicola quadrata; nella piramide da ogni spigolo si diparte una pellicola che converge al centro della piramide.

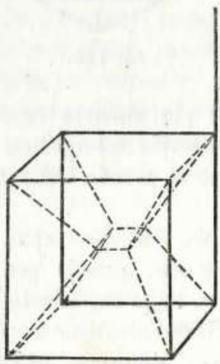


Fig. 2.

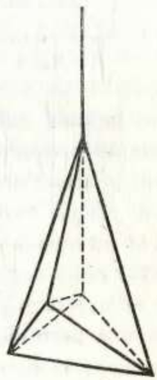


Fig. 2 *bis*.

Queste figure sono così belle da non potersi facilmente descrivere in modo adeguato. La somma regolarità e precisione geometrica fanno la meraviglia di chi le veda per la prima volta. Ma purtroppo sono di breve durata. Esse si dileguano coll'evaporare della soluzione, non senza aver prodotto le più brillanti iridescenze, come avviene delle bolle di sapone. La bellezza delle figure è causa che si desideri di fissarla,

anche per poterle meglio studiare. La cosa è facilissima. Invece che in una soluzione di sapone si immerge il cubo dentro a colofonio puro e disciolto; oppure dentro a colla. Estraendo il cubo si forma tosto la figura, che essicca al contatto dell'aria.

È da osservare che si possono ottenere all'aria aperta anche figure geometriche massicce, purchè il peso sia proporzionalmente piccolo, e piccolissima l'armatura di filo metallico. Se ad esempio con un filo metallico sottilissimo formiamo un cubo le cui facce abbiano circa tre millimetri di diametro, basta immergerlo nell'acqua per ottenere un piccolo cubo d'acqua massiccio. Con un poco di carta asciugante si può facilmente togliere l'acqua superflua e dar forma regolare al cubetto.

Si può trovare un modo anche più facile di osservare queste figure. Una goccia d'acqua, purchè sia abbastanza piccola, posta sopra una lastra di vetro spalmata di grasso, non iscorre più, ma si appiattisce alquanto per effetto del proprio peso che la comprime sulla superficie sottostante. L'appiattimento è tanto più tenue quanto più piccola è la goccia, e quanto più piccola la goccia, tanto più si avvicina alla forma sferica. Al contrario una goccia che aderisca all'estremità di una verghetta, si allunga per effetto del proprio peso. Le particelle inferiori di una goccia posta sopra una lastra sono compresse dalle superiori contro la superficie sottostante, perchè trovano in questo un ostacolo a deformarsi all'ingiù. Ma nel cadere di una goccia d'acqua tutte le particelle di essa si muovono con eguale facilità, e nessuna esercita maggior pressione delle altre. Adunque una goccia che cada liberamente non risente l'effetto del proprio peso; essa si comporta come se non avesse peso, e prende la forma sferica.

« Tutte le forme si somigliano e nessuna è uguale ad un'altra;
« Così il coro enuncia un'arcana legge ».

Ma Plateau ha spiegato l'arcano di questa legge. Essa si può enunciare breve e schietta nei due seguenti principii:

1° Quando parecchie pellicole piane si incontrano in una figura, sono sempre in numero di tre, e due a due formano angoli contigui ed uguali.

2° Dove parecchi spigoli si incontrano nella figura, sono sempre in numero di quattro, ed ogni coppia di essi forma angoli uguali a quelli dell'altra.

Questi a dir vero sono due curiosissimi articoli di una legge senza eccezione, di cui non possiamo conoscere esattamente il fondamento. Ma lo stesso può dirsi di molte altre leggi. Non sempre nell'interpretazione della legge è dato vedere i ragionevoli motivi del legislatore.

Ma in realtà i nostri due articoli si possono ridurre a motivi semplicissimi. Se essi sono rigorosamente osservati, ciò deriva dal fatto che le superficie del liquido sono così piccole quando possono essere nelle determinate condizioni.

Se un sarto di intelligenza straordinaria, e munito di tutte le armi della matematica superiore, si proponesse di rivestire di panno un cubo di filo di ferro in modo che ciascuna falda del panno aderisca esattamente agli spigoli ed alle altre falde, ed eseguendo questo lavoro volesse anche non adoperare che la quantità di stoffa rigorosamente necessaria, non potrebbe fare una figura diversa da quella che la soluzione di sapone forma da sè intorno all'armatura di filo di ferro. La natura nella formazione delle figure liquide procede come un sarto che vuol fare risparmio di stoffa; essa non si preoccupa del modo; ma, cosa singolare, la forma più bella si produce da sè.

I due articoli sopra citati non hanno valore se non per le figure di sapone; non occorre dire che essi non

possono in alcun modo applicarsi alle massicce figure d'olio. Ma la massima che la superficie dei liquidi si suddivide in parti tanto piccole quanto lo permettono le condizioni in cui essa si trova, vale per tutte le figure liquide. Chi conosce non soltanto la lettera, ma anche i motivi della legge, sa anche regolarsi nei casi ai quali la lettera della legge non può applicarsi. Così avviene anche del principio della minima superficie; esso ci è una guida sicura in ogni caso, anche quando i due articoli citati non hanno più applicazione.

Si tratta ora innanzi tutto di dimostrare che le figure liquide si producono secondo il principio della minima superficie. L'olio nella nostra piramide di filo di ferro posta nella miscela di acqua e di alcool aderisce agli spigoli, che non può abbandonare, e la massa dell'olio tende a conformarsi in modo che le superficie siano le minime possibili. Cerchiamo di riprodurre queste condizioni. Copriamo la piramide con una pellicola di caucciù ed al posto del manico di fil di ferro mettiamo una cannuccia che penetri nell'interno dello spazio chiuso dalla pellicola. Per mezzo di questa cannuccia possiamo soffiarvi dentro o aspirarne dell'aria. La massa d'aria interna ci rappresenta la massa dell'olio, e la pellicola tesa, che tende a contrarsi il più che sia possibile ed aderisce agli spigoli, ci rappresenta le superficie oleose che tendono ad occupare il minimo spazio. In realtà inspirando ed aspirando otteniamo tutte le figure della piramide di olio, dalla convessa alla concava. Finalmente, aspirando tutta l'aria, abbiamo la figura della piramide di sapone. Le falde della pellicola si attraggono l'una coll'altra, divengono

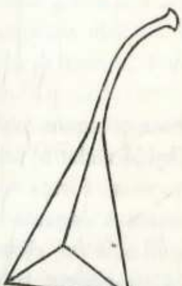


Fig. 3.

perfettamente piane e convergono con quattro angoli esattissimi al centro della piramide.

Colle pellicole di sapone, come ha dimostrato Van der Mensbrugghe, la tendenza al minimo spazio si può osservare direttamente. Se immergiamo in una soluzione di sapone un quadrato di filo di ferro munito di manico, si forma dentro di esso una bella falda piena di sapone. In questa introduciamo un filo sottilissimo, ad es., un filo di seta tratto dal bozzolo, di cui ab-

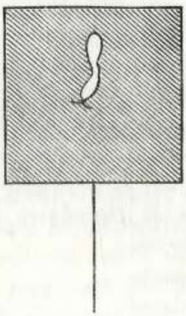


Fig. 4.

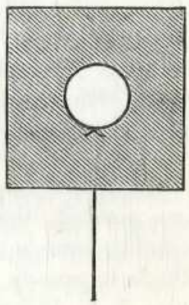


Fig. 4 *bis*.

biamo legato insieme i due capi. Urtando la parte del liquido che è racchiusa dal filo, nella pellicola di sapone si forma un vano circolare, di cui la circonferenza è segnata dal filo. Siccome il rimanente della pellicola si riduce al minimo, rimanendo invariabile la lunghezza del filo, così l'apertura tende ad essere la più larga possibile, il che si ottiene colla forma circolare.

In forza del principio della minima superficie, anche la massa d'olio libera nel suo movimento prende la forma sferica, perchè la sfera è il corpo che ha la minima superficie col massimo volume. Perciò un sacco da viaggio si avvicina tanto più alla forma sferica quanta più roba vi mettiamo dentro.

Visto che il principio della minima superficie può avere per conseguenza i nostri due singolari articoli, vogliamo ora spiegarlo meglio osservando un caso più semplice. Immaginiamo quattro cilindri *a*, *b*, *c*, *d*, ed

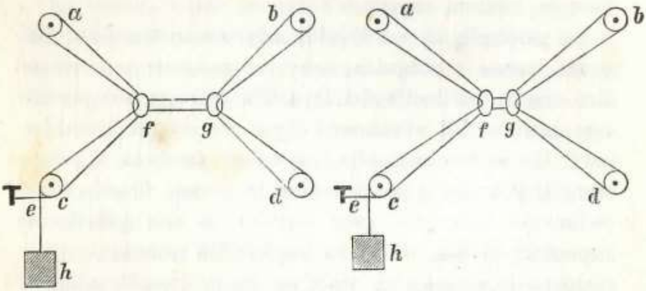


Fig. 5.

una cordicella scorrevole assicurata al chiodo *e*, alla quale sia attaccato un peso *h*; immaginiamo ancora due anelli mobili *f*, *g*, e la cordicella passando per questi anelli si avvolga intorno ai quattro cilindri. Il peso non ha altra tendenza che quella di cadere, ossia di allungare il più possibile il tratto *e h* della cordicella e per conseguenza accorciare il rimanente della parte di essa che si avvolge intorno ai cilindri. I tratti della corda debbono rimanere collegati coi cilindri, e mediante gli anelli collegati tra loro. Le condizioni sono dunque analoghe a quelle delle figure liquide, ed il risultato è anche analogo. Se come nella figura quattro paia di cordicelle si incontrano, questo non potrà più avvenire; la tendenza della corda ad accorciarsi ha per conseguenza che gli anelli si discostano e che solo tre paia di corde possono convergere, e convergono due a due con angoli uguali. In realtà con questa disposizione si è ottenuto nella corda il massimo accorciamento possibile, come facilmente si può dimostrare colla geometria elementare.

Possiamo ora, con nient'altro che colla tendenza dei liquidi alla minima superficie, spiegarci la formazione delle belle e complicate figure liquide. Ma c'è ancora un' altra questione: Perchè i liquidi tendono ad occupare la minima superficie?

Le particelle di un liquido aderiscono tra loro. Le gocce, messe a contatto, scorrono insieme; potremmo dire che le particelle dei liquidi si attraggono; perciò esse tendono ad avvicinarsi il più che sia possibile. Le parti che si trovano alla superficie tendono a penetrare il più che si possa dentro la massa. Questo procedimento non può aver termine se non quando la superficie si sia di tanto impiccolita quanto lo permettono le circostanze stabilite, ossia quando alla superficie essendo rimasto il minimo numero di particelle, e il massimo numero di queste essendo penetrate nell'interno, le forze di attrazione non hanno più niente da fare (1).

Il nucleo del principio della minima superficie, che a tutta prima può parerci un principio di importanza trascurabile, si riduce dunque ad un altro principio ancora più semplice, che si può rendere quasi egualmente evidente. Possiamo considerare le forze di attrazione e di ripulsione come stabilite con intenzione dalla natura. Anzi la differenza tra la pressione interna che ci determina ad una azione qualsiasi e che chiamiamo intenzione, e la pressione della pietra sul suolo che la sostiene o del magnete sopra un altro magnete, non è poi tanto grande che non ci sia lecito adoperare per l'una e per l'altra, almeno in certi casi, il medesimo vocabolo. La natura ha dunque l'intenzione di avvicinare il ferro al magnete, la pietra al centro

(1) In tutti i buoni trattati di fisica si dà molta importanza a tali questioni del massimo e del minimo.

della terra, ecc. Se l'intenzione può avere il suo effetto, avviene il fenomeno. Ma senza una intenzione da effettuare la natura non fa nulla; essa procede in tutto come un abile uomo d'affari.

La natura vuole spingere in basso i corpi pesanti. Ma noi possiamo sollevare un peso, spingendo in basso un altro peso maggiore, oppure soddisfacendo ad una altra più forte intenzione della natura. E se pure noi crediamo di servirci abilmente della natura, considerata più dappresso la faccenda è affatto diversa. Poichè la natura si è sempre servita di noi per raggiungere i suoi fini.

L'equilibrio, l'immobilità si verificano soltanto quando la natura non ha alcun fine da raggiungere, ossia quando le forze naturali sono soddisfatte quanto possano essere in determinate circostanze. Così ad esempio i corpi pesanti sono in equilibrio quando il loro centro di gravità si trova il più basso che sia possibile, ossia quando la massima parte del loro peso è discesa alla minima altezza che le circostanze consentono.

Nulla di più ovvio e naturale che il pensare se questa massima non debba avere valore anche fuori della cosiddetta natura inanimata. Anche nello Stato si ha l'equilibrio quando i fini dei vari partiti sono raggiunti in quanto pel momento è possibile, ossia, per usare scherzosamente il linguaggio della fisica, quando il potenziale dell'energia sociale si è ridotto al minimo (1).

Voi vedete quante conseguenze si possono derivare dal nostro gretto e mercantile principio. Un risultato dell'indagine più scrupolosa è divenuto per la fisica tanto fecondo quanto per la scienza in generale le

(1) Considerazioni analoghe si trovano in QUETELET, *Du système social.*

aride questioni di Socrate. E se il principio può parere poco ideale, tanto più ideali sono i frutti che esso ha dato.

E perchè la scienza dovrebbe vergognarsi di questo principio? La scienza in sostanza non è che un *affare*(1). Essa si propone, col minimo di lavoro, nel minimo tempo, col minimo sforzo di pensiero, di appropriarsi la massima quantità possibile dell'infinita, eterna verità (2).

---

(1) La scienza stessa può considerarsi come una questione di massimo e di minimo, al pari degli affari di un commerciante. In generale l'attività intellettuale dello scienziato è meno differente di quella che comunemente si creda dalla comune attività quotidiana.

(2) Cfr. il cap. II.

II.

DELLE FIBRE DEL CORTI NELL'ORECCHIO

Chi ha viaggiato sa che la passione dei viaggi cresce col veder nuovi paesi. — Come deve esser bella da quell'altura la veduta di questa valle boscosa! Dove scaturisce questo limpido ruscello che qui si nasconde tra i canneti? Oh se potessi vedere il paesaggio che è dietro a quel monte! — Così pensa il fanciullo nelle sue prime corse per la campagna. E lo stesso avviene dello scienziato nell'investigazione della natura.

Nelle prime questioni lo scienziato è stimolato da preoccupazioni pratiche, ma ciò non succede più nelle questioni ulteriori. A queste ci attrae un fascino irresistibile, un interesse più elevato, che trascende il bisogno materiale.

Consideriamo un esempio particolare.

Da gran tempo la struttura dell'apparato uditivo è oggetto dell'osservazione degli anatomici. Il loro lavoro ha prodotto un numero considerevole di importanti scoperte, ed ha messo in luce e stabilito molti fatti e verità preziose. Ma da questi fatti risulta una serie di nuovi e mirabili problemi.

Mentre la dottrina dell'organismo e della struttura dell'occhio ha raggiunto un grado notevole di relativa chiarezza, e la medicina oculistica ha dato risultati che nel secolo scorso appena si potevano sperare; mentre il medico coll'aiuto della specula può spingere il suo sguardo indagatore nelle intime profondità dell'occhio, la teoria dell'orecchio in gran parte è ancora avvolta in una oscurità tanto misteriosa quanto attraente per lo scienziato.

Prendiamo a considerare il modello di un orecchio umano. Già da quella parte a tutti nota, di cui l'estensione si suole volgarmente considerare come indice dell'intelligenza, ossia dal padiglione dell'orecchio, già da questo cominciano gli enigmi. Voi vedete qui una serie di involuzioni talora assai eleganti, delle quali non si può dare una spiegazione soddisfacente. E tuttavia se ci sono, debbono pur avere la loro ragione.

Il padiglione dell'orecchio (*a*) (nella figura schematica qui accanto) dà accesso al suono nel tortuoso meato uditivo (*b*), il quale è chiuso da una sottile pellicola, la così detta membrana del timpano (*e*). Questa membrana, messa in movimento dalle onde sonore, trasmette questo movimento ad una serie di minuti ossicini mirabilmente foggiati (*c*). Il tutto è terminato dal labirinto (*d*), il quale consta di un gran numero di cavità piene di un liquido, nelle quali mettono capo le innumerevoli fibre del nervo uditivo. Le oscillazioni degli ossicini scuotono il liquido del labirinto ed eccitano il nervo uditivo. E qui ha principio la funzione dell'udito; tutto questo è accertato; ma i particolari costituiscono altrettanti problemi insoluti.

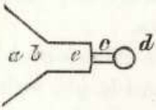


Fig. 6.

A questi problemi il marchese A. Corti nel 1851 ne aggiunse uno nuovo. E, mirabile a dirsi, questo è

forse il primo del quale si sia data un'esatta soluzione. Di questo vogliamo oggi occuparci.

Il Corti osservò nella chiocciola, che è una parte del labirinto, un gran numero di fibre microscopiche, disposte a scala l'una accanto all'altra con regolarità quasi geometrica. Kölliker ne contò fino a 3000. Anche Max Schultze e Deiters ne hanno fatto oggetto di ricerche.

La descrizione dei particolari vi riuscirebbe forse tediosa, senza portare maggior luce nella questione. Perciò preferisco esporre brevemente quello che vi è di essenziale in queste fibre del Corti, secondo l'opinione di insigni scienziati, quali Helmholtz e Fechner. Pare che la chiocciola contenga un gran numero di fibre elastiche di lunghezza graduata (fig. 7), alle quali mettono capo le ramificazioni del nervo uditivo. È evidente che queste fibre del Corti, di ineguale lunghezza, devono anche avere ineguale elasticità, e produrre toni diversi. La chiocciola rappresenta dunque una specie di pianoforte.

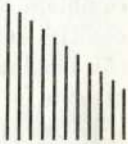


Fig. 7.

Ma a qual fine può essere costituito questo apparecchio, che non ha il suo riscontro in alcun altro organo dei sensi? Non si connette esso ad una facoltà che è anch'essa particolare dell'orecchio? Così è realmente. Voi sapete che è possibile discernere in una sinfonia le voci dei singoli strumenti; questo si può fare perfino in una fuga di Bach, benchè ci voglia non poca abilità. Sia in una armonia come in un incomposto frastuono, l'orecchio può percepire i singoli elementi musicali. L'orecchio del musico analizza qualsiasi aggruppamento di suoni. Ma nell'occhio non c'è una facoltà analoga. Chi potrebbe ad esempio, senza averne avuto la prova per mezzo di esperimenti fisici, riconoscere che il bianco è il risultato della composizione di una serie di colori? Dobbiamo dunque rite-

nere che ci sia realmente una connessione tra la sopra menzionata facoltà dell'orecchio e l'organo scoperto dal Corti? La cosa è molto verosimile. Il problema è risolto, quando si ammette che ogni tono di determinata altezza corrisponde ad una fibra della tastiera del Corti e per conseguenza alla ramificazione nervosa che si collega con questa.

Ma perchè io sia in grado di rendervi perfettamente intelligibile questo argomento, devo pregarvi di seguirmi per qualche passo nelle aride regioni della fisica.

Consideriamo un pendolo. Tolto dalla posizione di equilibrio, ad es. con un urto, il pendolo comincia ad oscillare con un ritmo determinato, che dipende dalla sua lunghezza. I pendoli più lunghi oscillano più lentamente, e più rapidamente i più brevi. Poniamo che il nostro pendolo compia il suo movimento di andata e di ritorno in un secondo.

In due modi noi possiamo imprimere al pendolo un movimento più rapido, o con un forte urto improvviso, o con una serie di piccoli urti dati opportunamente. Posto, ad es., il pendolo nella posizione di equilibrio, gli diamo un urto tenuissimo. Esso allora oscilla debolmente. Ma quando esso dopo un secondo ritorna la terza volta nel punto di equilibrio, gli diamo un altro leggero urto nella direzione del primo. Di nuovo dopo un secondo, quando il pendolo ritorna nel punto d'equilibrio, diamo un altro urto, e così via. Voi vedete che in questa operazione i nostri urti rinforzano continuamente il movimento già esistente del pendolo; ad ogni piccolo urto esso estende alquanto la sua oscillazione e finalmente raggiunge un movimento abbastanza rapido (1).

(1) Questo esperimento colle conclusioni che ne derivano è tolto da Galileo.

Ma questo esperimento non sempre riesce; esso riesce soltanto quando si urta il pendolo collo stesso ritmo della sua oscillazione. Se noi, ad es., diamo il secondo urto dopo un mezzo secondo, nella stessa direzione del primo, quest'urto agisce in senso contrario al movimento del pendolo. In generale è facile riconoscere che noi rafforziamo tanto maggiormente il moto del pendolo, quanto meglio il tempo del nostro urto coincide col ritmo che il pendolo ha già acquistato. Se noi sbagliamo la misura, in certi momenti possiamo anche accelerare l'oscillazione, in certi altri la rallentiamo. In generale l'effetto è tanto minore quanto più il movimento della nostra mano discorda da quello del pendolo.

Quello che si è detto del pendolo, vale per qualsivoglia corpo oscillante o vibrante; anche un corista o diapason compie una vibrazione, più rapida se il suono è più alto, più lenta se è più basso. Il corista normale tedesco compie 450 vibrazioni in un secondo.

Poniamo due coristi perfettamente uguali, muniti della loro scatola di risonanza, l'uno accanto all'altro sopra una tavola. Picchiamo fortemente uno dei due coristi, in modo da fargli rendere un suono forte, poi premiamolo tosto colla mano per soffocare il suono. Ciononostante voi sentite distintamente che il suono si prolunga, e colla mano potete accertarvi che ciò è dovuto al vibrare dell'altro corista che non è stato toccato.

Dopo di ciò attacco un poco di cera ad uno dei due coristi. Il suono ne resta smorzato e si fa alquanto più basso. Ma se ripetiamo lo stesso esperimento con due coristi di altezza ineguale, percuotendo uno dei due coristi e poi afferrandolo colla mano, il suono cessa tosto che avviene il contatto.

Quale è la spiegazione di questi due esperimenti?

Semplicissima. Il corista vibrante comunica all'aria 450 vibrazioni per secondo, le quali si trasmettono all'altro corista. Se il secondo corista è intonato al primo, ossia se percosso alla sua volta vibra nella stessa misura, basta il minimo movimento dell'aria per farlo vibrare fortemente. Ma questo non avviene più se vi è qualche differenza nella velocità vibratoria dei due coristi. Si possono percuotere quanti coristi si vuole, ma il corista intonato al *la* si comporta nello stesso modo rispetto a tutti gli altri, eccettuato quello che è dello stesso suo tono o di un tono molto prossimo. E se anche percuotete tre, quattro o cinque coristi nello stesso tempo, il corista *la* non dà alcun suono se non quando tra i coristi percossi vi sia un altro corista *la*.

Lo stesso vale per tutti i corpi che possono dare un suono. Quando si suona il pianoforte, i bicchieri ed i vetri delle finestre risuonano tosto che si tocca una determinata nota. Il fenomeno non manca di analogie in altri campi. Immaginate un cane che risponda al nome di Filace; il cane è sdraiato sotto la tavola. Voi parlate di Ercole e di Platone, o pronunziate tutti i nomi di eroi che vi vengono in mente. Il cane non si muove, benchè un movimento quasi impercettibile del suo orecchio vi manifesti la lieve vibrazione della sua coscienza. Ma appena pronunciate il nome di Filace, il cane vi balza incontro festosamente. Il corista è come il cane; esso risponde al nome di *la*.

Le signore sorridono ed arricciano il naso, perchè non trovano l'immagine di loro gusto? Mi piglierò una piccola vendetta adoperandone un'altra. Alle donne accade lo stesso che ai coristi. Molti cuori, signore mie, palpitano fortemente per voi, ma voi non ne sapete nulla, e rimanete fredde. Ma non pensate che sia sempre così; l'amore si vendica. Fate che si trovi un cuore, il

quale vibri nello stesso ritmo del vostro, ed anche la vostra ora sarà suonata. Il vostro cuore, vogliate o no, vibrerà anch'esso. Questa immagine ha almeno il merito di non essere troppo nuova, perchè gli antichi, come ci assicurano i filologi, conobbero anch' essi l'amore.

La legge della vibrazione simultanea stabilita per i corpi sonori subisce qualche variazione per certi corpi i quali per sè stessi non hanno alcuna sonorità. Siffatti corpi vibrano molto debolmente, ma quasi con tutti i toni. Un cappello a staio non è un corpo sonoro. Ma se durante un concerto voi lo tenete tra le mani, non solo potete udire l'intiera sinfonia, ma anche sentirla colle dita. Avviene come degli uomini. L'uomo che, per così dire, ha una tonalità sua propria, poco si preoccupa dei discorsi altrui. Ma l'uomo senza carattere si adatta ad ogni ambiente, e lo si trova in ogni compagnia, così in una società di temperanza come in un crocchio di bevitori, dovunque ci sia da formare un comitato. Il cappello a staio in mezzo alle campane è come l'uomo senza carattere in mezzo agli uomini di carattere.

Adunque un corpo sonoro dà un suono ogni volta che si produce la nota sua propria o sola o associata con altre. Facciamo ancora un passo. Come si comporterà un gruppo di corpi sonori, le cui tonalità formino una scala? Immaginiamo ad esempio una serie di verghe e di corde (fig. 8), intonate alle note *do re mi fa sol*..... Si produca sopra uno strumento musicale l'accordo *do mi sol*. Ognuna delle verghe cercherà, per così dire, se nell'accordo c'è la propria nota, e se questa nota esiste, la ripeterà.

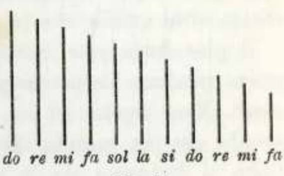


Fig. 8.

Così la verga *do* darà tosto la nota *do*, la verga *mi* la nota *mi*, la verga *sol* la nota *sol*. Tutte le altre verghe rimarranno immobili e mute.

Per trovare uno strumento simile a quello che abbiamo immaginato, non c'è da andar tanto lontano. Qualsiasi pianoforte è un apparecchio atto a ripetere in modo meraviglioso il nostro esperimento. Collochiamo l'uno accanto all'altro due pianoforti accordati tra loro. Del primo ci serviremo per produrre il suono, e il secondo lo faremo rispondere all'unisono, togliendone lo smorzatore perchè le corde possano meglio vibrare.

Ogni armonia che si produca rapidamente sopra il primo pianoforte, sarà ripetuta distintamente dall'altro. E per accertarci che sono le stesse corde quelle che vibrano percosse in uno dei pianoforti e rispondono nell'altro, ripetiamo l'esperimento in modo un po' diverso. Abbassiamo anche sul secondo pianoforte lo smorzatore e riteniamo su questo i soli tasti *do mi sol*, mentre sul primo soniamo rapidamente le note *do mi sol*. L'accordo *do mi sol* anche questa volta sarà ripetuto dal secondo pianoforte. Ma se in un pianoforte riteniamo soltanto la nota *sol*, quando soneremo sull'altro le note *do mi sol*, solo la nota *sol* sarà ripetuta. Sono adunque sempre in ambedue i pianoforti le corde della stessa nota quelle che si eccitano reciprocamente.

Il pianoforte può riprodurre qualunque suono che possa risultare dalla composizione delle sue note musicali. Esso ripete, ad es., con perfetta chiarezza, una vocale che sia cantata dentro di esso. E realmente la fisica ci dimostra che le vocali si compongono di toni musicali semplici.

Voi vedete che producendo in un pianoforte determinati suoni, per meccanica necessità si producono nell'aria movimenti esattamente determinati. Questo

principio si potrebbe applicare alla costruzione di congegni assai graziosi. Immaginate ad esempio una cassetta, nella quale sia tesa una corda di determinata tonalità. Questa si metterà in movimento ogniqualvolta si produca fischiando o cantando la sua nota. Alla meccanica moderna non riuscirebbe punto difficile congegnare la cassetta in modo che la corda vibrando chiuda un circuito galvanico e faccia saltare il coperchio; con poca fatica si potrebbe costruire una cassetta che si apra quando si zufoli una data melodia. Una parola magica, e cadono i catenacci! Avremmo un nuovo castello incantato, un nuovo episodio di quell'antica leggenda delle fate, che nel nostro tempo è già in gran parte divenuta realtà, di quella leggenda della quale recentemente si è avverata una parte mercè il telegrafo Caselli, che ci permette di scrivere a distanza colla nostra propria scrittura. Che direbbe di queste meraviglie il buon vecchio Erodoto, il quale in Egitto accoglieva scotendo il capo certe notizie? " Ἐμοὶ μὲν οὐ πιστά „ " a me non paiono credibili „ direbbe egli così sinceramente come quando udiva narrare della circumnavigazione dell'Africa.

Un nuovo castello fatato! A che pro questa invenzione? L'uomo è egli stesso un castello fatato; quale serie di pensieri, di sensazioni, di affetti suscita in noi una semplice parola! Ognuno ha avuto il suo tempo nel quale un nome bastava per far correre il sangue al cuore. Chi si è trovato in qualche adunanza popolare, sa quale effetto si ottiene, quale movimento si suscita colle innocue parole: *libertà, eguaglianza, fratellanza!*

Ma ritorniamo al nostro grave argomento; prendiamo nuovamente a considerare il nostro pianoforte o qualsivoglia apparecchio analogo. Che cosa fa siffatto strumento? È evidente che esso analizza qualsiasi ag-

gruppamento di suoni che si produca nell'aria e lo scompone coi suoi elementi tonali; questo avviene perchè ciascuna nota è accolta dalla corda che le corrisponde; è una vera analisi spettrale del suono. Anche un uomo affatto sordo posto al pianoforte, toccando le corde ed esaminando col microscopio le vibrazioni di esse, potrebbe scoprire le ondulazioni sonore dell'aria e determinare il valore delle note che si producono.

L'orecchio ha la stessa facoltà che ha il pianoforte. Esso è per l'anima ciò che sarebbe nel nostro caso il pianoforte per il sordo. Anzi, senza l'orecchio anche l'anima sarebbe sorda, mentre il sordo, coll'aiuto del pianoforte, in certo modo può udire, benchè senza dubbio meno bene e meno facilmente che per mezzo dell'orecchio. Anche l'orecchio scompone il suono nei suoi elementi.

Credo ora di non ingannarmi ritenendo che voi già intuite la funzione delle fibre del Corti. Noi possiamo farci un'idea chiara e semplice della questione. Immaginiamo di produrre il suono con un pianoforte, e che l'altro si trovi nell'orecchio dell'osservatore, al posto delle fibre del Corti, le quali verosimilmente costituiscono un apparecchio analogo. Ad ogni corda del pianoforte che è nell'orecchio si collega una ramificazione del nervo uditivo, in modo che soltanto questa ramificazione è eccitata dal vibrare della propria corda. Se ora sul pianoforte esterno noi soniamo un accordo, per ogni nota di questo vibrerà una corda del pianoforte interno, e saranno eccitate tante fibre nervose quante sono le note dell'accordo. Le impressioni simultanee prodotte da note diverse possono in questo modo non mescolarsi tra loro ed essere percepite come separate dalla nostra attenzione. È come delle cinque dita della mano, colle quali potete toccare cinque og-

getti diversi. Ora l'orecchio ha tremila di queste dita, e ciascun dito è fatto per toccare una nota diversa (1). Il nostro orecchio è un castello fatato come quello di cui abbiamo parlato, ma è un castello costrutto in modo ingegnosissimo. Non solo un suono, ma qualsivoglia suono ne spalanca le porte. Ad ogni nota esso risponde con una sensazione diversa.

Più d'una volta nella storia della scienza è avvenuto che un fenomeno sia stato primamente intuito dalla teoria, e molto tempo dopo reso sensibile dall'esperienza. Leverrier determinò per via di ipotesi l'esistenza e la situazione del pianeta Nettuno e più tardi Gall lo trovò realmente nel luogo indicato. Lo stesso avvenne della teoria di Helmholtz intorno alle fibre del Corti. Anche questa sembra essere stata confermata, nella sua sostanza, da osservazioni posteriori di v. Hensen. I gamberi hanno sulla superficie scoperta del loro corpo varie file di peli più lunghi e più brevi, più grossi e più minuti, che probabilmente si collegano col nervo acustico, e corrispondono in certo modo alle fibre del Corti. L'Hensen osservò che questi peluzzi vibrano per effetto del suono, e che producendo suoni diversi la vibrazione succede in diversi peli.

Ho paragonato l'attività dello scienziato ad una peregrinazione pedestre. Quando si sale sopra una collina, tutta la regione adiacente ci appare sotto un altro aspetto. Quando lo scienziato ha trovato la soluzione di un problema, risolve con questo una serie di problemi.

Certamente avrete osservato con meraviglia più d'una volta che quando si canta la scala cromatica e si giunge all'ottava si ha la sensazione di una ripetizione, quasi

---

(1) Una trattazione più estesa della qui accennata opinione di Helmholtz si trova nel mio *Contributo all'analisi delle sensazioni.*

la stessa sensazione del tono fondamentale. Questo fenomeno ha la sua spiegazione nella teoria ora esposta intorno all'orecchio. E non solo questo fenomeno, ma tutte le leggi dell'armonia si potranno d'ora in poi considerare e motivare con una chiarezza insperata. Per oggi devo contentarmi di accennare a queste attraenti idee; il trattarne più estesamente ci porterebbe troppo lontano in altri campi della scienza.

Così anche lo scienziato deve far violenza a sè stesso sul proprio cammino. Anch'egli è tratto di meraviglia in meraviglia, come il viandante da una valle all'altra, o come generalmente avviene dell'uomo che dalla forza delle cose è spinto da una ad un'altra condizione di vita. Forse più che un investigatore, lo scienziato è egli stesso un oggetto di investigazione. Ma è necessario che egli faccia buon uso del tempo, e non lasci errare il suo sguardo senza uno scopo prefisso; poichè il crepuscolo della sua vita si appressa, e appena egli ha veduto le meraviglie che gli sono più vicine, una mano poderosa lo ghermisce e lo trascina in un altro mondo non meno enigmatico di questo.

In altri tempi la scienza era in rapporti ben altri da quelli di oggi colla poesia. Gli antichi matematici indiani scrivevano in versi i loro postulati, ed i loro problemi si allietavano di fiori di loto, di rose, di gigli, di vaghi paesaggi, di laghi e di monti. “ Tu vai in barca sopra un lago. Un giglio sporge di un piede sopra il livello dell'acqua; un venticello lo abbatte ed il giglio si affonda a due piedi dal luogo che occupava prima. Orsù, matematico, qual'è la profondità del lago? „

Così parlava un antico dotto indiano. Siffatta poesia, e giustamente, è scomparsa dalla scienza. Ma dalle irte foglie dell'albero della scienza spira una ben altra poesia, che mal si può descrivere a chi non la intenda.

Chi vuole intendere questa poesia, deve metter mano egli stesso al lavoro, deve egli stesso dedicarsi alla ricerca scientifica. Ma di questo basti per ora; io mi reputerò ben fortunato se a voi questa piccola escursione in un florido campo della fisiologia non sarà parsa tediosa, e se vi sarete persuasi che della scienza si può dire quel che fu detto della poesia:

> Chi vuol capire qualche cosa della poesia,
> Deve andare nella terra della poesia;
> Chi vuol capire il poeta,
> Deve andare nel paese del poeta.

III.

LA SPIEGAZIONE DELL'ARMONIA

Noi parleremo oggi di un argomento che ha forse un interesse più generale, ossia della spiegazione dell'armonia dei toni. Le prime e più semplici esperienze intorno all'armonia sono antichissime. Non così la spiegazione delle sue leggi, che è stata data dal nostro tempo. Permettetemi una piccola digressione storica.

Pitagora (540-500 a. C.) sapeva già che la nota di una corda di determinata tensione dà il suono dell'ottava, quando si accorci la corda della metà, della quinta se la si accorcia di due terzi, e che il primo tono fondamentale consuona cogli altri due. Egli sapeva in generale che questa corda ad uguale tensione dà note consonanti se le si dànno una dopo l'altra lunghezze che stiano tra loro in una proporzione numerica semplicissima, come ad esempio: 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4, 4 : 5 e così via.

La ragione di questo fenomeno Pitagora non poteva certamente scoprirla. Che hanno da fare le note consonanti coi numeri? domanderemmo noi. Ma a Pitagora questo fatto dovette parere piuttosto inesplicabile che strano. Seguendo l'ingenuo metodo d'indagine del suo tempo, egli cercava il fondamento dell'armonia nel-

l'arcana e meravigliosa essenza dei numeri. Questo ha contribuito a creare quel misticismo aritmetico di cui si trovano anche oggi le tracce nei libri dei sogni e in certi dotti che preferiscono il meraviglioso all'intelligibile.

Euclide (500 a. C.) diede della consonanza e della dissonanza una definizione, di cui la migliore quasi non si potrebbe dare da noi. La consonanza di due note, egli dice, è la loro mescolanza, la dissonanza al contrario è la loro impossibilità di mescolarsi, dal che risulta un suono sgradevole all'udito. Chi conosce l'odierna spiegazione del fenomeno, vi sente per così dire un'eco delle parole di Euclide. E tuttavia egli non conosceva la vera spiegazione dell'armonia; egli inconsciamente era giunto molto presso alla verità, ma realmente non l'aveva compresa.

Leibnitz (1646-1716) riprese la questione che i suoi predecessori avevano lasciata insoluta. Egli sapeva che i suoni sono prodotti da vibrazioni, e che l'ottava ha un numero di vibrazioni doppio di quello della nota fondamentale. Appassionato cultore delle matematiche, egli cercò la spiegazione dell'armonia nei numeri segreti e nella comparazione dei semplici numeri delle vibrazioni e nell'arcano diletto che lo spirito prova in questa occupazione. Ma, direte voi, quando uno ignori affatto che le note corrispondono a vibrazioni, il numerare ed il piacere del numerare dovrebbero essere cose tanto misteriose da non potersene capire un bel nulla! Strane conclusioni dei filosofi! La più noiosa delle occupazioni, quella di numerare, elevata a principio di estetica! Voi non avete tutti i torti di pensarla così, e forse anche Leibnitz non ha detto una cosa tanto assurda come pare, benchè sia difficile spiegare che cosa egli abbia voluto significare coi suoi numeri segreti.

In modo analogo a Leibnitz anche il grande Eulero (1707-1783) cercò la fonte dell'armonia nel piacere che l'anima prova nel percepire l'ordine esistente tra i numeri delle vibrazioni.

Rameau e d'Alembert (1717-1783) giunsero più presso alla verità. Essi sapevano che ogni suono di valore musicale insieme alla sua nota fondamentale fa sentire anche la duodecima e la prossima terza superiore, e che inoltre l'analogia tra la nota fondamentale e l'ottava è generalmente sensibile. Per conseguenza l'aggiungere l'ottava, la quinta, la terza, e così via, al tono fondamentale doveva parer loro " cosa affatto naturale ". Certamente essi avevano preso a considerar la questione sotto il suo vero aspetto, ma allo scienziato non basta sapere che un fenomeno è cosa affatto naturale, perchè il *naturale* appunto è ciò che egli vuole spiegarsi.

L'osservazione di Rameau si continuò per tutta l'età moderna, senza però condurre alla scoperta della verità. Marx la pone in principio della sua dottrina della composizione, senza però farne ulteriore applicazione. Anche Goethe e Zelter nel loro carteggio rasentano per così dire la verità. Zelter conosce l'opinione di Rameau. Voi vi spaventerete certamente della difficoltà di questo problema, quando vi dirò che fino ai nostri giorni anche i professori di fisica non sapevano dare una risposta soddisfacente a chi li richiedesse di una spiegazione dell'armonia.

Solo in questi ultimi tempi Helmholtz ha trovato la soluzione del problema (1). Ma per rendervela intel-

(1) Osservazioni critiche sopra ciò che ha di incompleto questa soluzione si trovano nel mio *Contributo all'analisi delle sensazioni*. Jena, 1886. Cfr. anche l'articolo seguente.

ligibile bisogna che io premetta alcune massime sperimentali della fisica e della psicologia:

1° In ogni procedimento intellettivo, in ogni osservazione, l'attenzione ha una parte importante, ed è facile dimostrarlo con esempi alla mano. Voi ricevete uno scritto di pessima calligrafia, e non riuscite a decifrarlo. Il vostro occhio percepisce ora una linea ora un'altra, senza riuscire a formare con queste una lettera. Soltanto quando fissate la vostra attenzione sopra gruppi di linee che hanno tra loro una vera connessione, è possibile la lettura. Certe iscrizioni composte di piccole figure e di ornati sono leggibili solo ad una certa distanza, dove l'attenzione più non si disvia dal contorno generale ai particolari. Un bell'esempio al caso nostro ci è dato dalle note figure capricciose di Giuseppe Arcimboldo nel pianterreno della galleria del Belvedere in Vienna. Sono rappresentazioni simboliche dell'acqua e del fuoco, ecc., fatte con teste umane composte di animali acquatici e di utensili per attizzare il fuoco. A piccola distanza non si vedono che i particolari, che attraggono tutta l'attenzione dell'osservatore; a maggior distanza non si vede che la figura nel suo complesso. Tuttavia è facile trovare una distanza dalla quale si vedono senza difficoltà, col solo rivolgere volontariamente la propria attenzione, sia il complesso della figura che le piccole figure che la compongono. Si trova frequentemente un quadro che rappresenta la tomba di Napoleone. La tomba è circondata di alberi oscuri, tra i quali si vede lo sfondo chiaro del cielo. Si può guardare a lungo questo quadro senza scorgere nient'altro che gli alberi. Ma d'improvviso tra mezzo gli alberi si scorge la figura di Napoleone, e questo avviene non appena la nostra attenzione si volge involontariamente allo sfondo chiaro. Da questi esempi risulta evidente quale sia l'importanza dell'at-

tenzione. Lo stesso oggetto sensibile per effetto dell'attenzione può dar luogo a percezioni affatto diverse.

Io suono un accordo qualsiasi sul pianoforte. Voi potete fissare la vostra attenzione sopra ognuna delle note che lo compongono. In seguito voi udite in modo distintissimo la nota che avete fissata, e tutte le altre non vi paiono che accessori, modificati soltanto dal colorito che ricevono dalla prima. L'impressione della medesima armonia varia essenzialmente, secondo che fissiamo la nostra attenzione or su questa or su quella nota.

Tentate una serie armonica qualsivoglia, ad es. la seguente (fig. 9), e fissate una volta la nota alta *mi*, e un'altra volta la nota bassa *mi-la*, e nei due casi la serie armonica vi sembrerà affatto diversa. Nel primo caso vi sembrerà che la nota da voi fissata rimanga uguale, e si modifichi soltanto il suo timbro; nel secondo caso vi parrà che tutta la massa dei suoni discenda nell'ottava inferiore. Vi è un'arte del compositore per guidare l'attenzione dell'uditore, ma vi è anche un'arte dell'ascoltatore, che però non è cosa da tutti.



Fig. 9.

Il pianista conosce i mirabili effetti che si ottengono quando nell'esecuzione di un'armonia si lascia libero un tasto.



Fig. 10.

La frase 1 eseguita sul pianoforte suona quasi come la frase 2. La nota che giace subito dopo il tasto lasciato libero, dopo che questo è stato abbandonato,

suona come percossa di nuovo. L'attenzione non più trattenuta dalla nota alta, è di nuovo richiamata sopra di essa.

La scomposizione di qualsivoglia armonia nei suoi singoli elementi tonali può farsi anche da un orecchio musicale mediocremente esercitato. Con un esercizio più prolungato si giunge anche più in là, fino a potere scomporre in una serie di note un suono musicale che si era dapprima ritenuto come semplice. Se ad esempio si tocca sul pianoforte la nota 1, facendo tutta la debita attenzione, insieme a questa forte nota fondamentale si sentono più debolmente le note alte superiori 2 .... 7, ossia l'ottava, la duodecima, la doppia ottava, la terza, la quinta e la settima della doppia ottava.



Fig. 11.

Lo stesso fatto si osserva in qualsivoglia suono di valore musicale. In ogni suono, insieme alla nota fondamentale, si può sentire, a dir vero più o meno chiaramente, l'ottava, la duodecima, la doppia ottava, ecc. Questo si può facilmente osservare nelle canne d'anima aperte e coperte dell'organo. Secondo che una determinata nota alta in un accordo viene emessa con maggiore o minor forza, varia il timbro del suono, ossia quella particolarità per la quale noi distinguiamo il suono del pianoforte da quello del violino, del clarinetto, ecc.

Nel pianoforte queste note concomitanti si possono facilmente rendere sensibili. Se ad esempio dopo prodotta l'ultima nota io tocco rapidamente il tasto 1, lasciando scoperti l'uno dopo l'altro i tasti 1, 2, 3 .... 7, dopo il tocco del tasto 1 le note 2, 3 ... 7 continuano a risonare, e vibrano simultaneamente le corde non trattenute dallo smorzatore.

Come sapete questa vibrazione delle corde di ugual tono simultanea con quella delle note alte non è da considerare come una simpatia, ma piuttosto come una necessità meccanica. Adunque la vibrazione simultanea non va intesa come la spiegò un arguto appendicista, il quale a proposito della sonata di Beethoven in *fa minore*, Op. 2, narra una terribile storia, di cui non voglio privarvi. " Nell'ultima esposizione industriale di Londra diciannove pianisti eseguirono sullo stesso pianoforte la sonata in *fa minore* sullo stesso pianoforte. Quando venne il ventesimo pianista, per dare il cambio ad uno degli esecutori, il pianoforte con grande spavento di tutti gli uditori cominciò ad eseguire la sonata da sè. Era presente l'arcivescovo di Canterbury, il quale dovette esorcizzare il pianoforte per cacciarne il diavolo in *fa minore* ".

Benchè le note alte di cui si è detto non si possano sentire se non con una speciale attenzione, hanno tuttavia una importanza principalissima nella formazione del timbro del suono, come pure della consonanza o dissonanza dei suoni. Questo vi parrà forse strano. Come mai un fenomeno che l'udito percepisce soltanto in determinate condizioni, può avere per l'udito una così grande importanza?

Ricorrete per ispiegarvi questo fatto alla vostra esperienza quotidiana.

Quante cose voi non osservate affatto, e non vi accorgete di esse se non quando non le avete più sott'occhio! Viene un amico a vedervi; a voi pare che sia avvenuto in lui un cambiamento, ma non sapete quale; solo dopo averlo a lungo osservato vi accorgete che egli si è fatto tagliare i capelli. Non è difficile, dando una occhiata alla stampa, riconoscere da quale tipografia sia uscito un libro, ma pochissimi potrebbero spiegare il perchè della differenza così singo-

lare tra certi tipi e certi altri. Spesso mi è accaduto di riconoscere un libro che andavo cercando da un pezzetto di carta bianca che sporgeva da un mucchio di altri libri, e tuttavia non ho mai esaminato attentamente la carta e non saprei dire in che cosa essa differisse di tanto da quella degli altri libri.

Noi terremo dunque come accertato che in qualsivoglia suono di valore musicale oltre alla nota fondamentale l'udito può percepire come toni superiori l'ottava, la duodecima, la doppia ottava, ecc., e che questi hanno grande importanza nell'effetto complessivo di parecchi suoni.

2° Si tratta ora di un altro fatto. Osservate un corista: percotendolo esso vi dà una nota affatto liscia. Ma se lo percotiamo con un altro corista che abbia una nota un po' più alta o un po' più bassa, il quale pure per sè stesso darebbe una nota ugualmente liscia, e poi collochiamo i due coristi sopra una tavola o li accostiamo all'orecchio, non sentiremo più una nota uniforme, ma una serie di urti sonori. Questi urti sonori, tanto più rapidi quanto maggiore è la differenza d'altezza delle due note, sono molto sgradevoli all'orecchio, quando si ripetono, ad esempio, 33 volte in un secondo, e si chiamano battimenti.

Ogni qual volta di due note uguali una è stonata rispetto all'altra, avvengono di questi battimenti. Il loro numero cresce secondo l'entità della stonatura, e sono sempre più sgradevoli.

La loro asprezza giunge al sommo quando si hanno 33 battimenti per secondo. Se la stonatura è più forte, e maggiore di conseguenza il numero dei battimenti, la sensazione sgradevole decresce nuovamente, a tal segno che note di altezza molto differente non producono più alcun battimento spiacevole all'orecchio.

Per ispiegarsi in qualche modo la ragion d'essere

di questi battimenti, prendete due metronomi e regolateli in modo a un di presso uguale: potete anzi regolarli in modo perfettamente uguale senza timore che essi vadano troppo d'accordo nel segnare il tempo. I metronomi che si trovano in commercio sono generalmente meno che mediocri ed anche regolati sopra la stessa scala hanno un ritmo notevolmente disuguale.

Mettete in movimento questi due metronomi alquanto disuguali, ed osserverete che le loro battute ora coincidono ora si alternano.

La vicenda è tanto più rapida quanto maggiore è la differenza di battuta tra i due metronomi.

In mancanza di metronomi potete eseguire l'esperimento con due orologi da tasca.

In modo analogo avvengono i battimenti. Gli urti ritmici di due corpi sonori, quando l'altezza dei toni sia disuguale, ora coincidono ora si alternano e perciò a vicenda si afforzano e si attenuano. Di qui lo spiacevole sobbalzare del suono.

Ora che abbiamo capito che cosa siano le note concomitanti ed i battimenti, vediamo di trovare una risposta alla nostra questione principale. Perchè certi rapporti di tonalità dànno una simultaneità gradevole, ossia una consonanza, ed altri una sgradevole dissonanza? Pare che tutto l'effetto sgradevole dei suoni simultanei dipenda dai battimenti. Secondo Helmholtz i battimenti sono l'unico peccato, l'unico male della musica armonica. La consonanza è la simultaneità di più suoni senza notevoli battimenti.

Per ispiegarvi meglio la cosa ho costruito un modello. Voi vedete nella figura 12 una tastiera. Sopra di questa si trova un regolo mobile *aa* colle marche 1, 2 . . . . 6, Mettendo in una posizione qualsivoglia questo regolo, ad esempio in modo che il segno 1 coincida col *do* della tastiera, le marche 2, 3 . . . 6

indicano le note concomitanti del *do*. Lo stesso avviene quando si sposti il regolo in altra maniera.

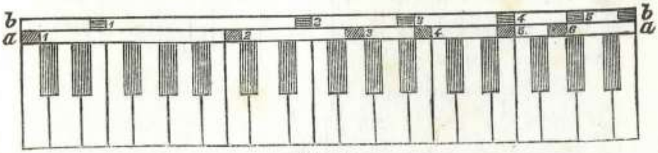


Fig. 12.

Un secondo regolo affatto uguale *bb* ha la stessa proprietà. I due regoli in qualsivoglia posizione segnano colle loro marche tutti i toni che contribuiscono all'effetto complessivo della nota segnata colla marca 1.

Posti entrambi i regoli sopra la stessa nota fondamentale, si riconosce che anche tutte le note concomitanti coincidono. Ogni suono in sostanza non è che rafforzato dagli altri. Le singole note concomitanti di un suono sono troppo lontane tra loro per produrre battimenti sensibili. Il secondo suono non aggiunge nulla di nuovo, perciò anche nessun nuovo battimento. L'unisono è la più perfetta delle consonanze.

Facendo scorrere un regolo contro l'altro si segnano le stonature di uno dei suoni. Tutte le note concomitanti di un suono cadono accanto a delle altre, e tosto si producono battimenti; la simultaneità dei suoni è sgradevole, ed abbiamo una dissonanza. Proseguendo a spostare un regolo contro l'altro osserviamo che in generale le note concomitanti vengono sempre a trovarsi l'una accanto all'altra, dando sempre luogo a dissonanze e battimenti. Solo in casi ben determinati le note concomitanti dei due suoni in parte coincidono. Siffatte posizioni indicano appunto un alto grado di armonia, gli intervalli consonanti.

È facile trovare per via di tentativi questi inter-

valli consonanti, ritagliando dalla carta la fig. 12 e facendo scorrere *bb* contro *aa*. Le più perfette consonanze sono l'ottava e la duodecima, perchè in queste le note concomitanti di un suono coincidono esattamente con quelle dell'altro.

Nell'ottava ad esempio 1 *b* cade sopra 2 *a*, 2 *b* sopra 4 *a*, 3 *b* sopra 6 *a*. Perciò non può esserci alcun battimento. Le consonanze sono dunque suoni simultanei non accompagnati da alcun battimento sgradevole.

Consuonano soltanto quei suoni che hanno comune una parte del loro tono parziale. Naturalmente si riconoscerà in questi suoni, anche quando si producono l'uno dopo l'altro, una certa affinità, perchè il suono seguente, a cagione della nota concomitante comune, produce in parte la stessa impressione del primo. Il caso più notevole è quello dell'ottava. Quando la scala giunge all'ottava, sembra realmente di sentire una seconda volta la nota fondamentale. I principii fondamentali dell'armonia sono dunque gli stessi della melodia.

La consonanza è simultaneità di suoni senza notevoli battimenti. Questo assioma è sufficiente per recare nella dottrina del basso numerato un ordine ed una coerenza logica ammirabili. I compendii di armonia, che finora quanto a squisitezza di logica poco avevano da invidiare — Dio ne perdoni gli autori — ai trattati di cucina, acquistano meravigliosa chiarezza e semplicità. Di più: molto di ciò che musicisti di genio come Palestrina, Mozart, Beethoven inconsciamente scoprirono, molte massime di cui nessun trattato sapeva dare la spiegazione, hanno il loro fondamento nell'assioma sopra enunciato.

Ma il pregio maggiore di questa teoria è l'impronta della verità che essa ha in sè. Essa non è una costruzione cervellotica; ogni musico può percepire i batti-

menti che producono l'uno sull'altro le note concomitanti dei suoni. Ogni musico può persuadersi colla esperienza che in qualsivoglia caso si può calcolare il numero e l'asprezza dei battimenti, e che essi avvengono nella precisa misura che la teoria stabilisce.

Questa è la risposta data da Helmholtz alla questione posta da Pitagora, per quanto io ho potuto spiegarvela coi mezzi di cui potevo servirmi. Un lungo intervallo di tempo corre tra la domanda e la risposta; più d'una volta insigni scienziati si trovarono assai più vicini che non pensassero alla soluzione di questo problema.

Lo scienziato cerca la verità; io non so se la verità cerchi lo scienziato. Ma se così fosse, la storia della scienza rassomiglierebbe molto al convegno amoroso che tante volte ispirò poeti e pittori. Un alto muro di cinta chiude un giardino; da una parte di essa il giovine, la fanciulla dall'altra. Il giovine piange, e piange la fanciulla. Entrambi aspettano, ed entrambi non sanno di essere tanto vicini.

A dir vero, l'analogia mi piace. La verità si lascia corteggiare volontieri, ma si mantiene passiva. Anzi essa talora prende a gabbo lo scienziato, perchè vuole che egli si meriti il possesso di lei e disprezza colui che vuole arrivare a lei troppo presto. E se anche uno ci si stilla inutilmente il cervello, poco danno; ne verrà un altro, e la verità è eternamente giovine. Talora sembra bensì che essa sia ben disposta verso il suo adoratore, ma confessarlo, oh mai! Solo quando il terreno circostante è stato sgombrato con somma diligenza, allora ella si degna di inviare al suo adoratore un raggio di luce. Perchè se non faccio nulla affatto, pensa la verità, questo galantuomo si stancherà di cercarmi.

Siamo ora in possesso di una particella di verità;

essa non ci sfuggirà più. Ma quando io penso quanto esso costi, quanto lavoro, quante vite di pensatori, per quanti secoli un pensiero abbozzato tormenta gli uomini prima di apparire nella sua interezza, quando penso che il semplicissimo modello che vi ho fatto vedere compendia le fatiche di più che duemila anni, allora, sinceramente, mi rimprovero del mio scherzo.

Eppure a noi mancano ancora tante cose. Quando tra un millennio si scaveranno fuori dal seno della terra, dall'alluvione recentissima, le reliquie del secolo decimonono, i nostri stivali, i nostri cappelli a staio, le crinoline, i pianoforti, i contrabassi, quando questi strani oggetti, quando le vie delle nostre città si studieranno come ora si studiano le asce di pietra e le palafitte lacustri, gli scienziati d'allora non comprenderanno come mai noi siamo giunti così dappresso a tante verità, senza realmente conquistarle. È l'eterna inesplicata dissonanza, l'eterna settima perturbatrice, che risuona intorno a noi da ogni parte; noi pensiamo bensì che un giorno essa eliminata, ma la pura triade sonora non arriveremo a sentirla, nè la sentiranno i nostri pronipoti.

Signore mie! Se nella vita la gradevole parte che vi fu assegnata è quella di confondere gli uomini, il mio dovere è invece quello di essere chiaro. Perciò devo confessarvi un piccolo peccato che ho dovuto commettere per riuscire più chiaro. Io vi ho fatto un piccolo inganno; voi mi perdonerete questa bugia, purchè io me ne mostri pentito e ne faccia ammenda. Il modello (fig. 12) non dice tutta la verità, perchè è calcolato per la cosidetta accordatura temperata. Però le note concomitanti non sono temperate, ma puramente accordate. Questa piccola imperfezione rende il modello molto più semplice. Inoltre per gli usi ordinari esso serve benissimo e chi lo adopera per i suoi studi non ha temere alcun errore considerevole.

Ma se voi esigeste da me la piena ed intiera verità, non potrei esporvela se non con una formola matematica; dovrei prendere in mano il gessetto e in vostra presenza mettermi a fare dei calcoli, il che forse non mi sarebbe perdonato. Ma questo non accadrà perchè io mi sono proposto oggi di non fare alcun calcolo. Mi sia soltanto concesso fare assegnamento sulla vostra indulgenza, che voi non mi negherete, considerando che del diritto che io avevo di annoiarvi ho usato con discrezione. Potrei parlare ancora molto a lungo; perciò mi è lecito conchiudere coll'epigramma di Lessing: " Se tu, o lettor mio, in tutta la materia che riempie questi fogli non avrai trovato nulla che mi valga un tuo ringraziamento, sii tuttavia riconoscente all'autore non per ciò che egli ha detto, ma per ciò che ha tralasciato ".

IV.

DELLA VELOCITÀ DELLA LUCE

Quando il giudice criminale ha da fare con qualche briccone matricolato, esperto nell'arte di nascondere la sua furfanteria, pone ogni studio nell'estorcergli con abili interrogazioni qualche parte della verità. In un caso quasi analogo si trova talora lo scienziato rispetto alla natura. A dir vero egli non dovrebbe considerarsi come un giudice, ma come una spia; ma lo scopo è a un dipresso il medesimo. I motivi segreti e le leggi del suo operare, sono le confessioni che si vuole strappare alla natura. Dipende dall'astuzia dell'investigatore il cavarne qualche risposta soddisfacente. Dunque non a torto Bacone di Verulamio disse che il metodo sperimentale è un interrogatorio che si fa alla natura. L'abilità consiste nel porre le questioni in modo che essa non possa schermirsi dal rispondere senza offendere il galateo.

Considerate i numerosi arnesi, strumenti e tormenti coi quali l'uomo assale corpo a corpo la natura, quasi ad onta del poeta che dice: " quello che la natura non ti vuole palesare, non riuscirai a strappargliela colle tue viti e colle tue leve ", considerate tutti questi ap-

parecchi, e vi parrà che abbiano molta analogia colla tortura.

Il concetto della natura come di una potenza che studiatamente si cela allo sguardo umano, della quale non si può strappare il velo se non con mezzi coercitivi o per vie riprovevoli, era a certi antichi filosofi molto più familiare che a noi (1). A dir vero non tutti i loro contemporanei la pensavano così; ma qualche reliquia di questo concetto si trova anche ai nostri giorni. Tuttavia in generale noi non abbiamo più delle idee così grette. Noi non crediamo più che la natura per sue arcane ragioni si nasconda a noi. La storia della scienza ci ha insegnato che talora le nostre questioni sono state poste in modo così assurdo da non meritare risposta. O meglio in tempo non lontano vedremo che l'uomo stesso con tutta la sua vita pensante ed indagatrice non è altro che una parte della vita della natura.

Sia che vi piaccia di credere che i fisici coi loro strumenti abbiano voluto torturare o piuttosto accarezzare la natura, credo che in ogni caso vi parrà interessante un frammento della storia di questi strumenti, e che non vi sarà sgradito conoscere quali singolari difficoltà abbiano dato così strana forma a tali apparecchi.

Galileo (Pisa 1564 — Arcetri 1642) fu il primo a mettere innanzi la questione della velocità della luce, ossia del tempo necessario perchè una luce che si manifesti in un dato punto divenga visibile ad una determinata distanza.

Il metodo escogitato da Galileo è tanto semplice quanto naturale. Due osservatori sperimentati, muniti di due lanterne coperte, si collocano di notte a consi-

(1) V. Senofonte, *Memorabili di Socrate*, IV, 7.

derevole distanza l'uno dall'altro, l'uno nel punto A, l'altro nel punto B. L'osservatore A, in un momento prestabilito, scopre la sua lanterna. Appena l'osservatore B vede la luce, scopre anche la sua. Ora è evidente che il tempo che passa dal momento in cui A scopre la sua lanterna a quello in cui giunge al suo occhio la luce della lanterna B, è il tempo necessario perchè la luce vada da A a B e da B ritorni ad A.



Fig. 13.

L'esperimento non fu mai eseguito, e come lo stesso Galileo riconobbe, non poteva affatto riuscire.

Come noi oggi sappiamo, la luce si propaga con velocità troppo maggiore di quella che a noi è dato osservare. Il tempo che ci vuole perchè la luce giunga nel punto B, e l'osservatore la percepisca, il tempo che passa tra lo scoprire e il ricoprire della lanterna, come oggi è noto, è incomparabilmente maggiore di quello che la luce impiega a percorrere un tratto della terra. La grande velocità della luce diviene sensibile quando si consideri quale vasta estensione di campagna sia d'improvviso rischiarata da un lampo in una notte tenebrosa, mentre gli scoppi di tuono ripercossi in diversi luoghi giungono a considerevoli intervalli all'orecchio dell'osservatore.

I tentativi di Galileo per rendere sensibile la velocità della luce non diedero durante la sua vita alcun risultato. Tuttavia la storia degli studi intorno alla velocità della luce comincia con lui, perchè egli col suo cannocchiale scoperse i quattro satelliti di Giove, e questo fu il mezzo per determinare appunto la velocità della luce.

Gli spazi terrestri erano troppo angusti per il tentativo di Galileo. La determinazione divenne possibile solo quando si ricorse agli spazi interplanetari. Olao Römer (Aarhuus 1644 — Copenhagen 1710) fu il primo

che riuscì in questa impresa (1675—1676). Egli osservava col Cassini dall'Osservatorio di Parigi la rivoluzione dei satelliti di Giove.

AB sia l'orbita di Giove; S è il sole, E la terra, J Giove, e T il primo satellite. Quando la terra si trova in E_1, si osserva costantemente il satellite entrare nell'ombra di Giove, e da questo periodico oscurarsi si può calcolare la durata della rivoluzione di Giove. Römer la stabilì in 42 ore, 27 minuti e 33 secondi. Ora quando la terra procedendo nella direzione C giunge in E_2, pare che il cammino dei satelliti si faccia più lento, e le ecclissi avvengono alquanto più tardi. Il ritardo dell'ecclissi, quando la terra è in E_2, è di 16 minuti e 26 secondi. Quando

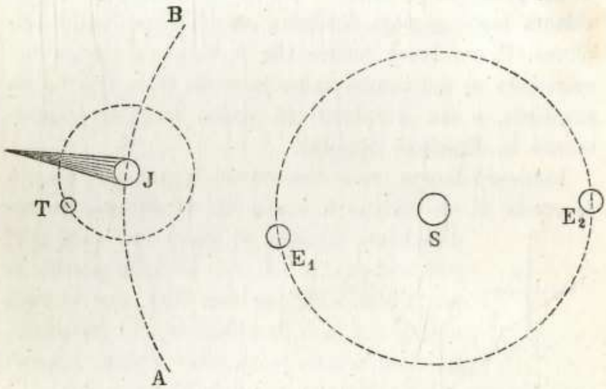


Fig. 14.

poi la terra continuando nella direzione D ritorna verso il punto E_1; la rotazione dei satelliti appare di nuovo più rapida, e raggiunge la stessa rapidità di prima quando la terra è ritornata in E_1. È da osservare che Giove nel tempo che la terra impiega a percorrere la sua orbita si sposta di pochissimo. Römer non tardò

ad indovinare che questa variazione nel tempo della rivoluzione dei satelliti poteva non essere reale ma solo apparente, e dipendente dalla velocità della luce.

Spieghiamoci il fenomeno con una immagine. Un regolare servizio di posta ci tiene informati del corso degli avvenimenti politici in una città. Anche a grande distanza, le notizie dei fatti ci arrivano tardi, ma tutte con uguale ritardo. Perciò lo svolgersi degli avvenimenti ci sembra rapido come è realmente. Ma se noi ci mettiamo in viaggio e ci allontaniamo dalla città, ogni ulteriore notizia impiegherà maggior tempo per giungere fino a noi, e i fatti ci sembreranno svolgersi più lentamente di quel che sia in realtà. Il contrario avviene se noi viaggiamo alla volta della città.

Un pezzo di musica, a qualsivoglia distanza, finchè stiamo fermi giunge al nostro orecchio con tempo uniforme. Ci sembrerà invece che il tempo si venga accelerando se noi camminiamo in fretta verso una banda musicale, e che si rallenti se invece andiamo rapidamente in direzione opposta.

Immaginate una croce con braccia uguali, ad esempio la ruota di un mulino a vento. Se vi allontanate rapidamente da essa vi parrà che essa giri più lentamente. E ciò avviene perchè la posta luminosa, per così dire, che vi reca notizia del suo cambiamento di posizione, ad ogni momento successivo deve percorrere un cammino più lungo per giungere a voi.

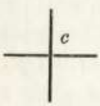


Fig. 15.

Lo stesso avviene necessariamente della rivoluzione dei satelliti di Giove. Il massimo ritardo dell'ecclissi, mentre la terra va da E_1 ad E_2, ossia seguendo la sua orbita si allontana da Giove, corrisponde evidentemente al tempo che è necessario alla luce per percorrere il diametro dell'orbita terrestre. Questo diametro è noto, ed è noto anche il ritardo. Con questi dati si è cal-

colata la velocità della luce, ossia lo spazio che la luce percorre in un secondo, a 42.000 miglia geografiche, equivalenti a 300.000 chilometri.

Il metodo è analogo a quello di Galileo, ma la scelta dei mezzi è migliore. In luogo della piccola distanza noi ci serviamo del diametro dell'orbita terrestre (41 milioni di miglia), ed in luogo della lanterna che si apre e si chiude abbiamo il satellite di Giove che a vicenda si rischiara e si oscura. Adunque Galileo non seppe eseguire la misura, ma trovò la lanterna colla quale si può eseguirla.

Questa bella scoperta non tardò a parere insufficiente ai fisici. Si cercò di misurare con mezzi più comodi la velocità della luce sopra la terra. La cosa diveniva possibile, essendo manifeste le difficoltà. Fizeau (n. in Parigi 1819) eseguì nel 1849 questa misura.

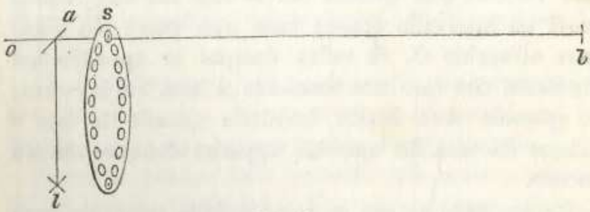


Fig. 16.

Cercherò di spiegarvi chiaramente in che consista l'apparecchio di Fizeau. Sia S un diaframma circolare munito di fori lungo la sua circonferenza, girante intorno al proprio centro; L sia una sorgente luminosa, la quale proietti la sua luce sopra una lastra di vetro trasparente A, inclinata di 45 gradi sopra l'asse del diaframma. Questa luce riflessa in A, per uno dei fori del diaframma si trasmette ad angolo retto allo specchio B, collocato alla distanza di circa un miglio tedesco da S. Dallo specchio B la luce si riflette nuo-

vamente e ritorna per il foro S, e di qui per la lastra di vetro all'occhio dell'osservatore O. L'occhio O vede dunque l'immagine riflessa della luce L, attraverso la lastra di vetro ed il foro del diaframma, nello specchio B.

Se ora si pone in movimento il diaframma, i fori di questo produrranno degli intervalli, e l'occhio O vedrà interrottamente l'immagine luminosa in B. Girando il diaframma con molta rapidità le interruzioni non saranno più sensibili all'occhio, ed esso vedrà lo specchio B costantemente illuminato.

Quanto si è detto vale soltanto nel caso che la velocità della rotazione sià moderata, ossia nel caso che la luce, la quale per il foro del diaframma S è giunta in B, nel suo ritorno trovi il foro quasi allo stesso posto e lo traversi la seconda volta. Immaginate ora una velocità così grande che la luce nel suo ritorno trovi un intervallo opaco; essa non potrà più giungere all'occhio O. Si vedrà dunque lo specchio nel momento che esso non trasmette la luce, ma la riceve; lo specchio sarà invece invisibile quando la luce è riflessa da esso. Lo specchio apparirà dunque sempre oscuro.

Aumentando ancora la velocità della rotazione, può avvenire che la luce passata attraverso un foro nel suo ritorno non incontri più questo ma uno dei fori seguenti e giunga per mezzo di questo all'occhio.

Adunque accelerando continuamente la rotazione lo specchio B apparirà a vicenda illuminato ed oscuro. È evidente che quando si conosca il numero dei fori, il numero dei giri del diaframma in un secondo e la distanza SB, si potrà calcolare la velocità della luce. Il risultato è eguale a quello ottenuto da Römer.

Del rimanente questo esperimento non è così semplice come pare. Bisogna aver cura che la luce per-

correndo il cammino di un miglio SB e il cammino inverso BS, non si disperda. Questo si ottiene coll'aiuto di cannocchiali.

Se osserviamo bene l'apparecchio di Fizeau, ravvisiamo in esso una antica conoscenza, ossia la stessa disposizione del tentativo di Galileo. L è la lanterna, il diaframma rotante e bucherellato serve a coprire e scoprire la lanterna ad intervalli regolari. In luogo dell'inabile osservatore B abbiamo lo specchio B, il quale risplende nel momento preciso in cui è percorso dalla luce proveniente da S. Il diaframma S, lasciando ora passare ed ora intercettando la luce nel suo ritorno, viene in aiuto all'osservatore O. Il tentativo di Galileo si ripete per così dire innumerevoli volte in un secondo, e il risultato definitivo si può ora osservare nella realtà. Se in questo campo mi fosse lecito applicare la teoria di Darwin, direi che l'apparecchio di Fizeau è il risultato dell'evoluzione della lanterna di Galileo.

Un metodo ancora più perfezionato per misurare la velocità della luce fu adoperato da Foucault, ma la descrizione di esso mi porterebbe troppo lontano.

Anche la misura delle velocità delle onde sonore si fa col metodo di Galileo. Non c'era dunque bisogno di stillarsi tanto il cervello. Ma il pensiero che fu prodotto dal bisogno, ha anch'esso il suo posto in questo campo.

König in Parigi costruisce un apparecchio per misurare la velocità del suono, il quale ricorda il metodo di Fizeau. Esso è molto semplice e si compone di due sonerie elettriche le quali con perfetta coincidenza dànno dieci colpi in un secondo. Se si pongono le due sonerie l'una accanto all'altra, in qualunque luogo si collochi l'osservatore sente le battute nello stesso istante. Ma se egli si pone vicino ad una delle

sonerie e l'altra viene trasportata a maggiore distanza, generalmente le battute non coincidono più. Il suono delle battute della soneria più lontana arriva più tardi, ad esempio la prima battuta della soneria lontana si sente subito dopo la prima battuta della soneria vicina e così via. Aumentando la distanza si può fare in modo che le battute coincidano di nuovo, ossia che ad esempio la prima della soneria lontana coincida colla seconda della soneria vicina, la seconda colla terza e via dicendo. Se dunque le battute delle sonerie segnano un decimo di secondo, e noi ci allontaniamo di tanto da poter sentire per la seconda volta la coincidenza delle battute, è evidente che la distanza tra le due sonerie è percorsa dal suono in un decimo di secondo.

Avviene assai spesso il fenomeno qui descritto, ossia che occorrono secoli perchè un pensiero si svolga faticosamente; ma quando esso è giunto al suo pieno sviluppo, succede in esso una rapida moltiplicazione.

Esso allora entra facilmente in tutti i cervelli, anche in quelli che sarebbero stati più riluttanti ad accoglierlo, esso esiste, e diviene indistruttibile.

La determinazione della velocità della luce non è il solo caso nel quale la percezione immediata dei nostri sensi si riveli troppo lenta e faticosa. Il mezzo ordinario per studiare procedimenti che siano troppo rapidi per l'osservazione immediata consiste nel mettere i procedimenti che si vogliono studiare in azione reciproca con altri già conosciuti che per quanto riguarda la velocità si possano paragonare coi primi. Il risultato è per lo più facilmente sensibile, e tale da permettere una conclusione intorno al modo di essere del procedimento ancora sconosciuto.

La velocità di propagazione dell'elettricità sfugge all'osservazione immediata. Tuttavia Wheatstone cercò

di renderla sensibile osservando la scintilla elettrica in uno specchio rotante rapidissimamente ma con velocità conosciuta.

Se noi agitiamo rapidamente una verga l'osservazione immediata non ci permette di scorgere con quale rapidità essa si muova in ciascun punto della sua traiettoria. Ma se osserviamo la verga attraverso i fori di un disco rapidamente girante vedremo la verga soltanto in determinate posizioni, ossia quando il foro passa davanti al nostro occhio.



Fig. 17.

Le singole immagini della verga persistono qualche tempo sull'occhio. A noi pare di vedere parecchie verghe, a un dipresso come nella figura sottostante. Ma se i fori del disco sono a distanze uguali ed esso gira con rapidità uniforme, noi vediamo chiaramente che la verga si sposta con relativa lentezza da *a* in *b*, più rapidamente da *b* a *c*, ancora più rapidamente da *c* a *d*, e colla massima rapidità da *d* ad *e*.

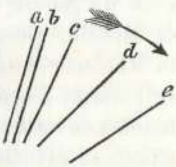


Fig. 18.

Un filo d'acqua che zampilli da un recipiente ci sembra fermo ed uniforme. Ma se nell'oscurità lo rischiariamo d'improvviso con una scintilla elettrica ci accorgiamo che il filo d'acqua è composto da molte gocce. Osserviamolo ora attraverso il disco girante. Poniamo che esso giri con tale velocità che quando il secondo foro giunge al posto del primo anche la goccia 1 giunga a quello della goccia 2, la goccia 2 a quello della goccia 3, e via dicendo. In tal caso vedremo sempre una goccia corrispondente a ciascun foro e ci sembrerà che il filo d'acqua sia immobile.

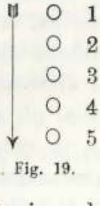


Fig. 19.

Giriamo ora il disco alquanto più lentamente; quando il secondo foro prenderà il posto del primo, la goccia 1 sarà caduta un po' sotto il foro 2, la goccia 2 un po' sotto il foro 3, e così via. Attraverso ogni foro successivo vedremo la goccia in posizione alquanto inferiore e ci sembrerà che il filo d'acqua defluisca lentamente.

Giriamo ora il disco un po' più celeremente. In questo caso può avvenire che mentre il secondo foro prende il posto del primo, la goccia 1 sia giunta non precisamente al posto della goccia 2 ma alquanto più sopra, la goccia 2 alquanto sopra il posto della goccia 3 e così via. Attraverso ogni foro seguente vedremo la goccia in una posizione alquanto più alta, e ci sembrerà che il filo d'acqua scorra all'insù, come se salisse dal vaso inferiore nel superiore.

Voi vedete che la fisica è una scienza che diviene ogni giorno più formidabile. Tra non molto il fisico avrà un potere simile a quello del gambero del lago di Mohrin. Conoscete la terribile descrizione che ne fa Kopisch in una sua poesia? Nel lago di Mohrin, egli narra, c'è un gran gambero saldamente legato al fondo con catene, e la città di Mohrin vigila con cura affannosa affinchè egli non si sciolga, perchè se ciò avvenisse sarebbe il finimondo. Siccome è proprio dei gamberi l'andare all'indietro, se questa bestiaccia si sciogliesse dalle sue catene e venisse a riva, tutte le cose camminerebbero all'indietro. Il pane si ridurrebbe in farina, la farina in grano; le travi delle case diventerebbero alberi e tornerebbero al loro bosco, gli alberi diventerebbero semi, i mattoni si ridurrebbero in argilla, gli abiti che indossiamo si convertirebbero in lana, in canapa, in lino; nè gli uomini sfuggirebbero a questa trasformazione; i vecchi tornerebbero bambini, il rettore dell'Università sarebbe uno scolaretto,

e via dicendo. A farla breve, grado grado per via di questa metamorfosi regressiva ogni cosa tornerebbe nel seno della terra donde è uscita. Ma questo non avverrà perchè fortunatamente le autorità di Mohrin non cessano mai della loro vigilanza affinchè il gambero rimanga in fondo al lago; così anche il canto del poeta è salvo dal pericolo di ritornare in fondo al calamaio (1).

Permettetemi ora una osservazione di indole generale. Voi avete già osservato che talora lo stesso principio è il fondamento di una intiera serie di apparati, che servono ad usi diversi. Spesso si tratta di una idea modestissima e pure sommamente feconda, la quale opera una trasformazione in tutta la parte tecnica della fisica. Avviene qui lo stesso che nella pratica della vita quotidiana.

La ruota del carro ci sembra cosa semplicissima, quasi insignificante. Ma l'uomo che l'ha inventata fu senza dubbio un genio. Forse a caso un tronco d'albero naturalmente rotondo condusse l'uomo ad osservare che un corpo pesante sovrapposto ad un cilindro si muove con maggiore facilità. Di qui a noi sembra che sia stata ovvia la transizione dal semplice cilindro sottoposto al cilindro regolare ed afforzato, e da questo alla ruota. La cosa ci sembra naturalissima, perchè fin dall'infanzia siamo avvezzi a vedere la ruota. Ma poniamoci colla fantasia nella condizione di un uomo che non abbia mai veduto una ruota, e immaginiamo che egli ne sia l'inventore, e comprenderemo allora quali difficoltà egli abbia dovuto superare. Anzi, sor-

(1) Nell'originale questa poesia di Kopisch è riportata testualmente; al traduttore è parso opportuno riassumerla. N. d. T.

gerà in noi il dubbio se un uomo abbia potuto da solo fare questa invenzione, o se non piuttosto la transizione dal cilindro alla ruota sia stato il risultato del lavoro di parecchi secoli.

I benemeriti inventori della prima ruota non sono ricordati da alcuna storia; essi vissero in età molto lontane dai tempi storici. Nessuna accademia li premiò, nessun collegio di ingegneri si onorò di inscriverli tra i suoi membri onorari. Ma essi sopravvivono nei grandiosi effetti dell'opera loro. Toglieteci la ruota: che rimarrà della tecnica e dell'industria del nostro tempo? Nulla affatto. Dall'arcolaio della massaia al grande filatoio, dal banco del tornitore alle ruote di trasmissione, dal rozzo carrettone al treno della strada ferrata, tutto tornerebbe nel nulla.

Non minore importanza ha la ruota nella scienza. Gli apparecchi rotanti, il mezzo più semplice di tutti per ottenere rapidi movimenti senza notevoli cambiamenti di luogo, sono adoperati in tutti i rami della fisica. Voi conoscete lo specchio girante di Wheatstone, la ruota dentata di Fizeau, il diaframma girante e bucherellato di Plateau, ecc. Tutti questi apparecchi sono fondati sullo stesso principio. Essi differiscono tra loro unicamente per ragione del loro uso, come il coltello tascabile da quello dell'anatomico, da quello del vignaiuolo. E ciò che si è detto della ruota vale anche per la vite.

Credo che avrete compreso chiaramente che le idee nuove non nascono d'un tratto. Il pensiero abbisogna di molto tempo per germogliare, per crescere e per giungere al suo compiuto sviluppo, nè più nè meno di qualunque cosa esista in natura, perchè l'uomo ed il suo pensiero non sono altro che una parte della natura.

Lento, graduale e faticoso è il trasformarsi di un pensiero in un altro, come è verosimile che sia la trasformazione di una specie animale in nuove specie. La nascita di molte idee è contemporanea; esse combattono la lotta per la vita, come avvenne dell'ittiosauro, del bramano e del cavallo.

Poche sono le idee che sopravvivono per diffondersi rapidamente in tutti i campi della scienza, per continuare la loro evoluzione, per dividersi e per ricominciare la lotta. Come più di una specie animale da lungo tempo sopraffatta, e appartenente ad età remote, ancora sopravvive in regioni fuori di mano dove i suoi nemici non poterono raggiungerla e distruggerla, così vediamo talora certe idee da lungo tempo cadute in oblìo sopravvivere ancora in certi cervelli. L'osservatore coscienzioso riconosce che le idee difendono la propria esistenza non meno tenacemente che gli animali. Chi potrebbe negare che non pochi concetti più che antiquati continuano per lungo tempo a far capolino dai più remoti ripostigli del cervello che si arretra alla vista della via luminosa del pensiero? Quale scienziato ignora le aspre lotte che ha dovuto combattere contro sè stesso per mutare le proprie idee?

Fenomeni analoghi incontra l'investigatore della natura in tutte le vie che egli segue, ed anche nelle cose più insignificanti. Chi ha il vero istinto scientifico osserva ed investiga senza posa, anche durante la passeggiata, anche per le vie della città. Anche l'uomo non troppo dotto osserva che certe cose, ad esempio i cappellini delle signore, vanno soggetti a trasformazioni. Sopra questo argomento io non ho fatto ricerche speciali, ma mi ricordo bene di un fatto, cioè del progressivo passaggio da una forma ad un altra. Si portavano un tempo certi cappelloni con tese molto sporgenti. In fondo in fondo, tanto che ci voleva un

cannocchiale, si nascondeva il viso della bella signora. Poi la tesa si venne accorciando, e il cappello restringendosi fino a sembrare la parodia di sè stesso. Ora comincia a svilupparsi di sopra un edifizio maestoso, e sanno gli dei a quali dimensioni arriverà. Nei cappelli delle signore avviene lo stesso che nelle multiformi farfalle, tra le quali talora un piccolo sviluppo anormale delle ali produce in una specie affine una dilatazione eguale a quella di un piccolo ventaglio. Anche la natura ha le sue mode, ma esse durano per migliaia d'anni. Potrei spiegare meglio la cosa con qualche altro esempio, trattando, per dirne una, dell'origine dell'abito a coda, se non temessi che il mio discorso cominci a parervi un po' noioso.

Abbiamo fatto una peregrinazione attraverso un periodo della storia della scienza; quali cognizioni abbiamo acquistato? Una cognizione secondaria, direi quasi insignificante, quella cioè del modo di misurare la velocità della luce; eppure c'è voluto il lavoro di più che due secoli per trovarne la soluzione. Tre dei più insigni investigatori della natura, l'italiano Galileo, il danese Römer ed il francese Fizeau vi hanno coscienziosamente collaborato. E lo stesso può dirsi di innumerevoli altre questioni. Quando pensiamo ai tanti fiori del pensiero che debbono tutti avvizzire prima che uno produca il frutto, comprendiamo quanto ci sia di vero nelle severe ma non troppo consolanti parole: “ molti sono i chiamati, pochi gli eletti „. È il monito che ci ripetono tutte le pagine della storia; ma la storia avrà essa ragione? Saranno veramente gli eletti quelli soltanto di cui essa ricorda il nome? Saranno state inutili la vita e le lotte di quelli a cui non arrise alcun premio?

Io mi permetterei di dubitarne, ed ognuno ne du-

biterà che conosca il tormento del pensiero nelle notti insonni, tormento che spesso è inutile, per lungo tempo, ma che pure alla fine ci conduce allo scopo. Nessuna fatica del pensiero è inutile; anche l'idea più volgare, anche l'idea falsa, anche quella che secondo ogni apparenza è infeconda, serve a preparare la via ad una idea ulteriore che darà il suo frutto. E come nulla è inutile nel pensiero dell'individuo, così in quello dell'umanità.

Galileo si proponèva di misurare la velocità della luce; egli chiuse gli occhi senza aver nulla ottenuto. Ma almeno egli trovò la lanterna colla quale il suo continuatore riuscì nell'impresa. Ed io oso affermare che tutti quanti siamo, purchè lo vogliamo, lavoriamo per la scienza e per la civiltà dell'avvenire. Purchè tutti ci proponiamo per fine il vero ed il giusto, tutti siamo i chiamati, tutti gli eletti!

V.

PERCHÈ L'UOMO HA DUE OCCHI?

Perchè l'uomo ha due occhi?

Perchè non sia turbata la bella simmetria del volto, risponderebbe l'artista. Perchè il secondo occhio compensi la perdita eventuale del primo, risponderà il prudente economista. Perchè l'uomo possa piangere con due occhi sopra i peccati del mondo, dirà qualche santocchio. Sono risposte soggettive. Ma se rivolgeste questa domanda ad uno scienziato moderno, ne avreste una risposta da farvi inorridire. Scusi, signorina, dice lo scienziato con grave cipiglio, non c'è alcuna ragione perchè l'uomo abbia due occhi; la natura non è una persona, e non è così gretta da proporre un fine a tutto quello che fa. E non è ancor nulla! Io conosco un professore che si sarebbe altamente scandalizzato se i suoi scolari avessero osato rivolgergli una domanda così antiscientifica.

Domandatene ad uno scienziato meno arcigno, come credo di essere io. Io non saprei dirvi precisamente perchè l'uomo abbia due occhi; potrei forse dire che è per il piacere di vedervi qui radunati a sentirmi discorrere intorno a questo piacevole argomento.

Voi fate un risolino incredulo. Eppure è questa una di quelle questioni alle quali cento sapienti non potrebbero dare una esatta risposta. Di questi sapienti

ne avete sentito già cinque, e sarete lieti che io vi faccia grazia degli altri novantacinque. Al primo potreste rispondere, che l'uomo non sarebbe meno bello se avesse il volto come quello dei Ciclopi; al secondo, che sarebbe ancor meglio che di occhi ne avessimo quattro od otto, e che a questo riguardo i ragni sono stati favoriti molto più di noi; al terzo, che non avete voglia di piangere; al quarto, che il respingere la questione eccita più che non soddisfaccia la vostra curiosità, ed a me per ultimo potreste replicare che il mio piacere non è per sè stesso così gran cosa da bastare da solo a spiegare perchè l'uomo dal peccato originale in poi abbia due occhi invece che uno.

Ora, poichè la chiesa scientifica proibisce ogni questione sulla finalità, diamo alla nostra domanda una forma più ortodossa, e diciamo: Posto che l'uomo ha due occhi, che cosa vede egli di più che con uno?

Permettetemi che io vi conduca a fare una passeggiata in un bosco. Perchè un bosco vero ci sembra tanto più bello di un bosco dipinto anche da mano maestra? quale è la ragione di una differenza così vantaggiosa? La vivacità delle tinte, il giuoco delle luci e delle ombre? Credo di no, anzi mi pare quasi che la pittura in questo possa far grandi cose.

La mano sapiente del pittore con qualche pennellata può ottenere tali effetti plastici da ingannare la vista; coll'aiuto di altri mezzi si ottiene un effetto anche maggiore. Certe fotografie hanno un rilievo così plastico da far parere palpabili le prominenze e le depressioni. V'è una sola cosa nella quale il pittore non può gareggiare di evidenza colla natura, ed è la differenza tra le cose lontane e le vicine. In un bosco vero vedete che certi alberi sono a portata di mano, e certi altri sono a grande distanza.

Il quadro del pittore è immobile; ma la natura vi offre nel bosco un quadro che varia al minimo vostro movimento; ora un ramo si nasconde dietro un altro, ora appare un tronco che un altro nascondeva.

Consideriamo il fatto più attentamente. Per comodità delle signore ci terremo sulla strada I, II. A destra e a sinistra c'è il bosco. Quando noi siamo nel punto I vediamo tre alberi, situati in maniera che il più lontano è nascosto dal più vicino. Ma procedendo innanzi la cosa cambia; dal punto II la nostra vista verso l'albero 3 si estenderà meno che verso il più vicino albero 2, e verso questo meno che verso l'albero 1. Adunque a misura che procediamo gli oggetti più vicini rispetto ai più lontani sembrano rimanere indietro, e tanto più indietro quanto più sono vicini. Gli oggetti molto lontani, che noi procedendo verso di essi vediamo a lungo nella stessa direzione, ci sembreranno muoversi con noi.

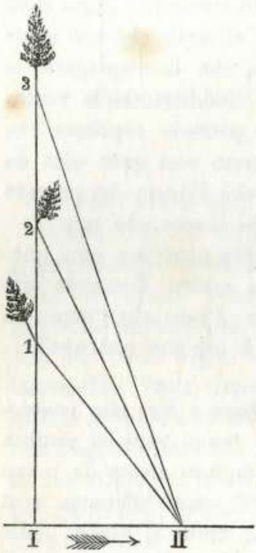


Fig. 20.

Se noi vediamo sporgere dietro una eminenza due vette di alberi dei quali non conosciamo quanto siano distanti da noi, possiamo facilmente accertarcene: facciamo qualche passo a destra: l'albero più vicino sarà quello di cui ci sembrerà che la vetta si discosti di più verso sinistra. Anzi, il geometra potrebbe dalla maggiore o minor proporzione di questo allontanamento determinare la distanza, senza bisogno di giun-

gere fino agli alberi. E non per altro che per la educazione scientifica della nostra osservazione siamo in grado di determinare le distanze dei corpi celesti.

Adunque dal variare dell'aspetto degli oggetti per effetto del nostro avanzarsi verso di loro possiamo determinare la loro distanza nel nostro campo visuale.

Ma a rigore noi non abbiamo bisogno di avanzarci, perchè in ogni osservatore ci sono due osservatori. L'uomo ha due occhi, e una distanza, per piccola che sia, intercede tra il destro e il sinistro. I due occhi ci daranno dunque due quadri diversi del medesimo bosco; l'occhio destro vedrà gli alberi più vicini arretrarsi alquanto verso sinistra, e tanto più quanto maggiore è la vicinanza; questa differenza è sufficiente per giudicare delle distanze.

E in realtà i seguenti fatti bastano a dimostrare la verità dell'affermazione:

1° Con un occhio solo (chiudendo l'altro) mal potete giudicare delle distanze. Così, ad esempio, se avete da infilare un bastone in un anello posto davanti a voi, difficilmente vi riuscite; per lo più rasentate l'anello col bastone.

2° Il medesimo oggetto vi appare diverso secondo che lo guardate coll'occhio destro e col sinistro.

Ponete sopra una tavola un paralume a cono tronco, colla base in giù, e osservatelo dall' alto in basso; coll' occhio destro vedete l' immagine 2, col sinistro l'immagine 1; se lo voltate colla base in alto, l'occhio destro vedrà l'immagine 4, e il sinistro l'immagine 2. Di tali osservazioni ne trovate già in Euclide.

3° In ultimo voi sapete che con ambo gli occhi è facile giudicare della distanza. Questa valutazione risulta dunque dall'azione associata dei due occhi. Nel nostro esempio le aperture del paralume presentano a ciascun occhio l'immagine di due circoli non concen-

trici, l'uno contenuto nell'altro; basta questo fatto perchè l'occhio riconosca che il circolo maggiore gli è più vicino del minore.

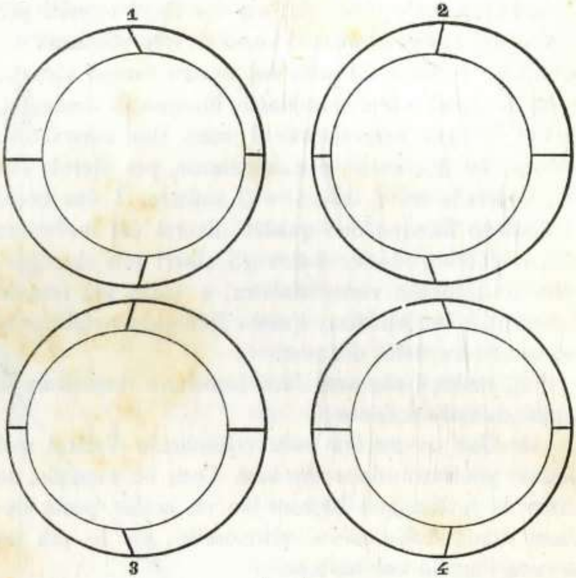


Fig. 21.

Non dubito, gentili signore, che i vostri occhi vi avranno meritato molti graziosi complimenti, ma certamente nessuno vi ha mai detto, e non so se il complimento vi parrà lusinghiero, che nei vostri occhi, neri od azzurri che siano, avete due piccoli geometri.

Non l'avete mai saputo? Nemmeno io saprei dirvi come ciò sia, ma non può essere altrimenti. Voi sapete poco o nulla di geometria? Sia anche questo; ma coll'aiuto dei vostri occhi voi misurate le distanze; non è questo un problema geometrico? E di questo problema conoscete la soluzione, poichè sapete rendervi ragione delle distanze. Se poi non sapete trovare

la soluzione del problema, i vostri piccoli geometri penseranno a suggerirvela. E non ho il minimo dubbio che cotesti bricconcelli non sappiano trarsi d'imbarazzo.

Ma quello che mi meraviglia è che di questi geometri voi non sappiate nulla. Forse anch' essi nulla sanno di voi; forse sono come impiegati scrupolosi, che di nulla si curano fuori del loro ufficio. Vogliamo ora metterli un poco alla prova.

Presentiamo all'occhio destro ed all'occhio sinistro due immagini perfettamente uguali a quelle che il paralume presenterebbe all'uno ed all'altro occhio, e vi parrà di vedere, non una immagine, ma il vero oggetto rappresentato.

L'esperimento vi è noto. Chi ha l'abitudine di guardar di sbieco, può farlo da sè in modo uguale alla figura, e guardare coll'occhio destro l'immagine destra, e col sinistro la sinistra. In questo modo l'esperimento fu fatto la prima volta da Elliot; un perfezionamento di esso è lo stereoscopio, inventato da Wheatstone e perfezionato da Brewster, che ne fece uno strumento utile e popolare.

Per mezzo dello stereoscopio guardando due fotografie dello stesso oggetto prese da punti diversi (corrispondenti ai due occhi), si può avere la visione chiara ed in perfetto rilievo di un paesaggio o di un edifizio lontano.

Ma lo stereoscopio può fare anche di più; esso può renderci visibili cose che nella realtà non si possono vedere con uguale chiarezza. Voi sapete che se facendovi fotografare non istate immobili nella posa, la vostra figura risulterà simile a quella di un dio indiano, con parecchie teste e con parecchie braccia, le quali, nel luogo dove si sovrappongono, possono talora apparire colla stessa chiarezza, come se si vedesse una immagine traverso un'altra. Se la persona si allontana

in fretta appena finita la posa, nella fotografia si vedranno anche gli oggetti che erano dietro di lei, come se essa fosse trasparente. Su questo fatto si fondano le fotografie spiritiche.

Questa osservazione si presta a molte utili applicazioni; se, ad esempio, si fa la fotografia stereoscopica di una macchina e durante l'operazione se ne toglie via un pezzo dopo l'altro (non occorre dire che la fotografia dovrà farsi a parecchie riprese) si otterrà una immagine trasparente nella quale sarà chiaramente visibile la concatenazione delle parti che nella realtà rimarrebbero nascoste da altre.

Voi vedete che la fotografia fa progressi giganteschi, e che vi è da temere che tra non molto qualche audace fotografo non si faccia scrupolo di penetrare colla sua arte nell' intimo del cuore umano per rendere visibile ciò che in esso si nasconde. Quale beata quiete nello stato! Quali insperati successi per la benemerita polizia!

Adunque all'azione associata dei nostri due occhi noi dobbiamo la cognizione della distanza e quindi anche della forma dei corpi. Permettete che qui io accenni ad altri esperimenti relativi a questo argomento, che possono esserci di aiuto anche nella intelligenza di certi fenomeni storici.

Voi avete spesso sentito dire ed avete anche osservato che gli oggetti lontani per effetto della prospettiva si vedono impiccoliti. Ed è facile osservare che la figura di un uomo lontano pochi passi da voi può essere nascosta da un dito posto a breve distanza dall'occhio. Tuttavia d'ordinario non vi accorgete di questo impiccolimento; al contrario credete di vedere un uomo in fondo ad una sala non meno grande che se l'aveste daccanto a voi. Poichè l'occhio ha cognizione della distanza e in relazione a questa valuta la

grandezza reale dell'oggetto, maggiore dell'apparente; l'occhio è per così dire educato a conoscere l'impiccolimento prospettico e non si lascia ingannare da esso, anche quando l'uomo ignora affatto la prospettiva. Chi si è provato a disegnare dal vero sa per esperienza quale difficoltà derivi da questa straordinaria abilità dell'occhio, che si oppone alla riduzione prospettica. Soltanto quando il giudicare dalle distanze è meno sicuro, perchè la distanza è troppo grande e il criterio della misura può errare, soltanto in questo caso abbiamo la chiara visione prospettica.

Quando da un treno in rapida corsa voi guardate d'improvviso la campagna, gli uomini posti sopra un altura adiacente vi appaiono come graziosi fantocci, perchè in quel momento vi manca il criterio della misura. Entrando in una galleria le pietre che ne formano l'ingresso vi sembrano più grandi, e quando ne uscite vi pare che si impiccoliscano a vista d'occhio.

D'ordinario l'azione dei due occhi è simultanea. Ma siccome certe vedute si ripetono frequentemente e dànno per conseguenza una valutazione delle distanze quasi uguale, così l'occhio acquista necessariamente una particolare abilità analitica. Siffatta abilità (1) diviene così grande che anche con un occhio solo si può eseguire questa analisi.

Ve lo spiegherò con un esempio. Quale spettacolo più comune per voi dello sfondo di una via della città? Chi non ha spinto a lungo lo sguardo, come cercando qualche cosa, verso l'estremità di una via. misurandone l'estensione? Ora supponiamo di entrare in una esposizione di belle arti; vediamo un quadro che rappresenta appunto lo sfondo di una via citta-

(1) La sola esperienza individuale non è sufficiente a spiegare questa abilità. Vedi " Analisi delle sensazioni ".

dina; il pittore non ha risparmiato studi e calcoli di linee per rendere esattamente la prospettiva. Il geometra che sta nel vostro occhio sinistro, penserà: Questo è un caso che io ho visto e calcolato le cento volte, e che conosco pienamente. È lo sfondo di una via della città; laggiù, dove le case si vedono più basse, è l'estremità della via. Al geometra dell'occhio destro sembrerà comodo non interrogare il suo collega, che forse è un po' burbero; egli darà senz'altro lo stesso responso. Ma ecco che nei due scrupolosi impiegati si risveglia il sentimento del dovere; essi fanno il loro bravo calcolo e trovano che tutti i punti del quadro sono egualmente lontani, ossia sopra uno stesso piano.

A quale dei due responsi vorrete credere, al primo od al secondo? Se credete al primo, vedrete chiaramente lo sfondo di una strada, se al secondo, non vedrete altro che una tavola coperta di linee bizzarre.

A voi sembra cosa da nulla guardare un quadro ed intenderne la prospettiva. Eppure ci sono voluti dei millenni prima che l'umanità imparasse questa cosa da nulla, e i più tra voi non l'hanno imparata se non per effetto dell'educazione.

Io mi ricordo assai bene che quando avevo tre anni tutte le vedute prospettiche mi parevano deformazioni degli oggetti reali. Non arrivavo a capire perchè il pittore facesse una tavola così larga da un capo e così stretta dall'altro; a me una tavola pareva ugualmente larga alla cima come al fondo, perchè l'occhio calcolava senza la mia cooperazione. Ma che l'immagine della tavola sopra un piano verticale dovesse intendersi non già come un piano, bensì come una vera tavola che si prolungava nel senso della profondità, era una cosa da nulla che io non comprendevo. Del che più tardi mi sono potuto consolare, venendo

a sapere che intieri popoli non seppero comprenderla meglio di me.

Vi sono anime ingenue alle quali la morte simulata sulla scena par cosa vera, e vera tutta l'azione scenica, tanto che vorrebbero portare aiuto all'attore che vedono afflitto o minacciato da qualche pericolo. Altri al contrario non riescono a dimenticare che gli alberi della scena sono tela dipinta, e che Riccardo III è l'attore Tal dei Tali, col quale si sono trovati più volte in compagnia. Difetti ugualmente gravi.

Per comprendere giustamente un dramma od un quadro bisogna saper bene che l' uno e l' altro sono una finzione che rappresenta qualche cosa di vero. Si richiede perciò una certa prevalenza della vita interna spirituale sulla vita dei sensi, tale che la prima non possa essere sopraffatta dalla impressione immediata. Ci vuole anche una certa libertà che consenta a ciascuno di scegliere il proprio punto di vista, una certa genialità che manca ai fanciulli ed ai popoli nello stato infantile. Prendiamo a considerare qualche esempio storico. Non voglio mostrarmi tanto erudito da andarlo a cercare nell'età della pietra, benchè di questa si abbiano certi disegni assai curiosi in fatto di prospettiva.

Entriamo piuttosto nei sepolcreti e nei templi dell'antico Egitto, ornati di innumerevoli figure a rilievo e di sfolgoranti colori che hanno resistito vittoriosamente all'ingiuria del tempo. Una vita varia e rigogliosa risorge intorno a noi: vediamo gli Egizi raffigurati in tutti i momenti della loro vita. Quello che tosto ci meraviglia in queste figure è la squisita diligenza della tecnica; i contorni sono nitidissimi e delicatissimi. Ma i colori sono pochi e stridenti, senza mescolanze nè gradazioni; manca affatto il chiaroscuro; le superficie sono dipinte in modo uniforme.

La prospettiva poi è spaventevole per i nostri occhi. Tutte le figure sono di uguale grandezza, ad eccezione di quelle dei re, che sono ingrandite a dismisura. Gli oggetti lontani ed i vicini sono ugualmente grandi; non v'è traccia di scorcio prospettico. Uno stagno popolato di uccelli acquatici è rappresentato sopra un piano verticale, come se realmente la superficie dell'acqua fosse verticale.

Le figure umane son disegnate come in realtà non si vedono mai, ossia colle gambe l' una accanto all'altra, e la testa di profilo; il petto si vede sempre in tutta la sua larghezza nel piano del disegno. La testa di un bue è disegnata di profilo, ma le due corna si vedono nello stesso piano. Il principio fondamentale della tecnica egizia si potrebbe esprimere dicendo che le loro figure sono compresse contro il piano del disegno come le piante in un erbario.

La cosa non è difficile da spiegare. Benchè gli Egizi fossero avvezzi a guardare naturalmente le cose coi loro due occhi, tuttavia non doveva esser loro familiare l'analisi di una veduta prospettica nello spazio. Nella realtà vedevano le braccia e le gambe degli uomini nel vero posto; ma è evidente che le loro figure schiacciate contro un piano dovevano sembrare ai loro occhi più rispondenti al vero che le figure prospettiche.

Questo si comprende anche meglio quando si tenga presente che la pittura si svolse dal bassorilievo. Le minime dissomiglianze tra le figure schiacciate contro un piano e l'originale dovettero grado a grado guidare l'uomo al disegno prospettico. La pittura degli Egizi ha la sua ragione fisiologica, come l'hanno i disegni dei nostri bambini.

Un piccolo progresso in confronto dell' Egitto si vede nell'arte dell'Assiria. I bassorilievi disseppelliti

dai cumuli di macerie di Nimrod presso Mossul sono in tutto simili a quelli degli Egizi. Ne dobbiamo la cognizione alle utili fatiche del benemerito Layard. Tra i Cinesi la pittura entra in una nuova fase. Essi sentono molto bene la prospettiva ed il chiaroscuro, ma tuttavia non sono troppo logici. Pare che anche qui abbiano fatto il primo passo, e non siano andati più oltre. Questo ha riscontro nella loro lingua che al pari di quella dei fanciulli non è progredita, o piuttosto, come direbbe qualche moderno, non è degenerata fino alla grammatica; ha un altro riscontro nella loro musica, che si appaga di una scala di cinque note.

Nelle pitture murali di Ercolano e di Pompei, oltre alla grazia del disegno si osserva un senso esatto della prospettiva e della lumeggiatura; tuttavia nella costruzione non si va troppo pel sottile. Anche qui gli scorci sono evitati quanto si può, e le membra sono collocate in una posizione poco naturale, nella quale appaiono in tutta la loro lunghezza. Sono più frequenti gli scorci di figure vestite che quelli di figure nude.

All'intelligenza di questi fenomeni io sono pervenuto mediante alcuni semplici esperimenti, dai quali risulta come lo stesso oggetto possa apparirci diverso per effetto dell' azione volontaria dei nostri sensi, quando si abbia qualche dominio sopra di essi.

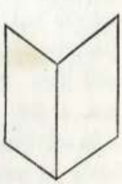


Fig. 22.

Osservate la figura qui accanto (fig. 22). Essa rappresenta un foglio di carta piegato, che a vostra volontà volge verso di voi la parte prominente o la parte rientrante. Potete intendere il disegno in un senso o nell'altro; nell'uno o nell'altro caso vi parrà diverso.

Se ora collocate sopra una tavola un foglio di carta

piegato, collo spigolo rivolto verso di voi, guardandolo con un occhio solo potrete vederlo a vostra volontà prominente, come è in realtà, o rientrante. Si aggiunge a questo un altro singolare fenomeno. Quando vedete il foglio esattamente, nulla c'è di particolare nella forma nè nella lumeggiatura. Ma quando lo vedete come se fosse rientrante, vi pare che la prospettiva sia falsata, la luce vi pare molto più chiara e l'ombra molto più scura, come se fossero dipinte a colori in forte contrasto; nel chiaroscuro non c'è più un rapporto logico, esso non corrisponde più alla forma del corpo e riesce tanto più sorprendente.

Nella pratica quotidiana la prospettiva e la lumeggiatura degli oggetti visibili ci aiutano a riconoscere la loro forma e la loro situazione; per conseguenza non rileviamo le luci, le ombre e le deformazioni di essi. Di queste acquistiamo chiara coscienza solo quando adoperiamo un altro mezzo di analisi che non sia la consueta visione nello spazio. Quando si osserva l'immagine riflessa nel piano di una camera oscura, riesce meraviglioso il forte contrasto tra le parti luminose e le parti ombreggiate, contrasto che appena si avverte nella realtà.

Nella mia fanciullezza i chiari e gli scuri nei disegni mi sembravano macchie senza alcuna ragione, e quando cominciai ad imparare il disegno, credevo che l'ombreggiare fosse una mera convenzione. Una volta volli fare il ritratto del signor prevosto, amico di casa, e feci sul suo viso dei tratteggi così fitti che la metà di esso restò affatto nera, e ciò non per esser fedele al vero, ma perchè così avevo veduto in altri disegni. Questo mi valse da mia madre una critica spietata, e l'offesa fatta al mio amor proprio di artista è forse la causa che mi impresse nella mente questi fatti.

Voi vedete dunque che non solo nella vita dell'individuo ma anche nella vita dell'umanità, ossia nella storia della civiltà, molte cose si spiegano con questo semplicissimo fatto dell'aver l'uomo due occhi.

Mutate l'occhio dell'uomo, e muterete anche la visione che egli ha del mondo. Poichè abbiamo tratto in campo i nostri prossimi ascendenti, gli Egizi, i Cinesi e gli abitatori delle palafitte, non c'è ragione perchè dobbiamo lasciar da parte gli ascendenti più remoti, le scimmie e gli altri animali. Affatto diversa deve parere la natura agli animali che hanno occhi essenzialmente diversi dai nostri, ad esempio gli insetti. Ma quanto a rendere intelligibile questa diversità, è impresa alla quale la scienza deve rinunciare *a priori*, perchè non si conosce ancora a sufficienza il modo di operare di questi organi. È già un arduo problema il volersi spiegare come vedano la natura altri animali più affini all'uomo, ad esempio gli uccelli, i quali non possono quasi mai rivolgere i due occhi ad uno stesso oggetto, ed avendo gli occhi ai due lati del capo, hanno per ciascun occhio un campo visuale indipendente da quello dell'altro (1).

L'anima umana è chiusa nella propria casa, cioè nel capo, e guarda il mondo dalle sue due finestre, che sono i due occhi. Essa vorrebbe pur sapere quale è l'aspetto della natura vista da altre finestre; ma a questo pare che non arriverà mai. Tuttavia l'amore per la natura è ingegnoso; e a qual-



Fig. 23.

che cosa si è già arrivato. Se io pongo dinanzi a me

(1) V. Joh. Müller, *Fisiologia comparata del senso della vista.*

due specchi convergenti con un angolo molto largo (fig. 23), vedo due immagini del mio viso. Nello specchio posto a destra vedo il lato destro, in quello a sinistra il lato sinistro. Così di una persona che stia dinanzi a me vedrò maggior parte del lato destro della sua faccia o del lato sinistro, secondo che la guardo coll'occhio sinistro o col destro. Ma per avere del suo volto due vedute così diverse come si avrebbero nei due specchi convergenti bisognerebbe che i miei due occhi fossero molto più lontani l'uno dall'altro di quel che siano in realtà (1). Se ora io mi sforzo di guardare coll'occhio destro nello specchio destro, e nel sinistro coll'occhio sinistro, vedo come un gigante dalla testa enorme e dagli occhi molto divergenti. Una impressione analoga mi fa il mio viso che vedo riflesso non più due volte ma una sola. Osservando più a lungo da un secondo all'altro cresce il rilievo; le ciglia si avanzano sopra gli occhi, il naso si fa lungo due palmi, i baffi sembrano una fontana a pioggia, i denti paiono sprofondarsi nella cavità della bocca. Ma il naso è quello che fa l'effetto più orribile. Penso di domandare una privativa per questo semplice apparecchio, e di proporlo al governo spagnuolo perchè l'adoperi nei suoi uffici.

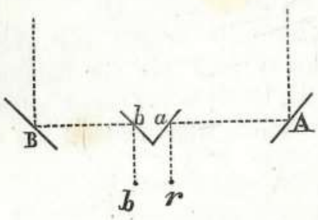


Fig. 24.

Sotto questo rispetto è interessante il telestereoscopio costruito da Helmholtz. Con esso si osserva una veduta guardando coll' occhio destro per mezzo dello spec-

(1) Qui si suppone che lo specchio volga all' osservatore la sua parte rientrante.

chio *a* nello specchio A, e col sinistro per mezzo dello specchio *b* nello specchio B. I due specchi A e B sono posti a qualche distanza tra loro. Anche qui la visione è quella che avrebbero gli occhi molto divergenti di un gigante. Ogni cosa sembra impiccolita ed avvicinata. I monti lontani non vi sembrano più grandi delle pietre coperte di musco che avete ai vostri piedi. In mezzo alla campagna vedete un minuscolo modello di città, un vero Liliput. Vi pare che potreste passare la mano sopra le foreste e le città, se non temeste di pungervi colle guglie aguzze dei campanili o di spezzarle. Liliput non è una favola; per vederlo non avete che da adoperare gli occhi di Swift, ossia il telestereoscopio.

Pensate al caso inverso. Noi saremmo così piccoli che potremmo andare a passeggiare in un bosco di muschi, e i nostri occhi, conforme al nostro corpo, sarebbero vicinissimi tra loro. I muschi ci farebbero l'effetto di alberi; sopra di questi vedremmo arrampicarsi bestie smisurate ed informi, non mai prima vedute. I rami della quercia, al piede della quale giace la foresta di musco, ci sembrerebbero nuvole immobili nel cielo, dalle forme strane e contorte; ci farebbero a un di presso l' effetto che deve fare agli abitanti di Saturno l' anello che circonda questo pianeta. Al piede dei tronchi della foresta di musco vedremmo grandi sfere trasparenti e risplendenti, di qualche piede di diametro, lentamente oscillanti al vento. Avvicinandoci curiosamente vedremmo che queste sfere, nelle quali si agita un popolo gioioso di animaletti, sono di acqua. Ma guai all' incauto omiciattolo che le tocchi! una forza invisibile lo trascina e lo trattiene nell'interno della sfera; la goccia di rugiada, per effetto della capillarità ha assorbito l'omiciattolo, quasi per vendicare le innumerevoli gocce d' acqua

consumate dall' uomo. Dovevi pur saperlo, o microscopico investigatore della natura, che ridotto qual sei a così esigua mole, la capillarità è per te un fenomeno pericoloso!

La catastrofe è così spaventosa che mi induce a ritornare ad idee più ragionevoli. Mi accorgo di essere diventato troppo idillico. Perdonatemi! Una zolla erbosa, un bosco di musco o di erica colla sua piccola popolazione è per me molto più interessante di certi saggi letterari dove l'uomo è divinizzato. Se io avessi ingegno da scrivere novelle, non mi occuperei certamente di Giannino e di Ghita; nemmeno trasporterei i miei due innamorati sulle sponde del Nilo al tempo dei Faraoni; tuttavia li porrei un po' lontano dal tempo presente. Poichè, ve lo confesserò francamente, io odio il ciarpame dei fatti storici, per quanto interessanti come fenomeni, perchè non possiamo considerarli nella loro nudità, perchè dobbiamo anche sentirli, perchè per lo più i fatti storici ne vengono incontro con oltraggiosa arroganza, quasi si trattasse di cose ardue ed inaccessibili.

Il protagonista della mia novella dovrebbe essere un maggiolino, il quale nel suo quinto anno di vita per la prima volta fidandosi alle giovani ali si libra nell'aria. Non sarebbe certamente un male che l'uomo per questa via cercasse di liberarsi dalla sua innata ed acquisita angustia intellettuale e cercasse di rendersi famigliare il modo che hanno di considerare il mondo gli esseri a lui affini. Ci guadagnerebbe certamente più dell' abitante di una piccola città che facendo il giro del mondo abbia acquistato cognizione dell'indole e delle idee di altri popoli.

Vi ho condotto per istrade e per viottoli, per sassi e per macchie, coll'intenzione di farvi vedere come

da una ad un' altra conseguenza logica di un fatto scientifico si possa arrivare dove si vuole. L'accurato esame dei due occhi dell' uomo ci ha condotti non solo all'infanzia dell'umanità, ma anche oltre l'umanità stessa.

Forse più di una volta vi avrà fatto specie la divisione che suol farsi della scienza in due classi, contrapponendo le cosidette scienze morali, proprie della cosidetta " cultura superiore ", alle scienze naturali.

Quanto a me, confesso che tale sdoppiamento della scienza non mi va; io credo che ad un' età più matura della nostra questo concetto sembrerà non meno puerile della falsa prospettiva della pittura egizia. Dobbiamo davvero ammettere che da pochi cocci e da poche vecchie pergamene, che altro non sono che un minimo frammento della natura, si debba esclusivamente attingere la " cultura superiore ", e che di qui si possa imparare assai più che da tutta la natura? Io credo che queste due classi di scienze non sono se non parti di un unica scienza, le quali hanno cominciato da principii diversi. E sebbene al presente le due famiglie scientifiche si comportino ancora l'una verso l'altra come i Montecchi ed i Cappelletti, sebbene facciano nascere baruffe tra i loro dipendenti, credo che lo facciano solo per ostinazione. C'è da una parte un Romeo e dall' altra una Giulietta; è lecito sperare che con esito meno tragico essi riescano a pacificare le due famiglie.

La filologia cominciò colla venerazione incondizionata e colla deificazione dei Greci. Ora ha esteso le sue ricerche ad altri popoli, ad altre storie e ad altre lingue, e già per l'intermediario della glottologia comparata, benchè con grande cautela, essa stringe amicizia colla fisiologia.

Le scienze naturali hanno avuto principio nell'offi-

cina delle streghe. Ora esse si estendono a tutto il mondo organico ed inorganico, e già colla fisiologia dei suoni articolati e colla teoria dei sensi, invadono il campo spirituale, benchè finora senza una guida sicura.

A farla breve, molte cose del nostro interno si imparano volgendo lo sguardo al mondo esterno, e viceversa. Ogni oggetto appartiene alle due famiglie scientifiche. Voi, gentili signore, siete senza dubbio un problema interessante e difficile per la psicologia, ma siete anche uno dei più belli tra i fenomeni naturali. La Chiesa e lo Stato sono oggetto di studio per lo storico, ma sono pure fenomeni naturali, e non dei meno curiosi.

Se le scienze storiche hanno già allargato il nostro orizzonte intellettuale facendoci conoscere il genio di altri popoli, in questo senso le scienze naturali fanno anche di più. Per opera loro l'uomo è assorbito nell'unità dell'universo, è addirittura annientato; questo lo costringe a spogliarsi dei suoi preconcetti, a scegliere fuori di sè stesso il proprio punto di vista e a giudicare il mondo con un criterio ben diverso da quello di chi non è mai uscito dal proprio guscio.

Se ora dunque mi ripeterete la domanda: " perchè l'uomo ha due occhi? ", io vi risponderò: Perchè possa osservare attentamente la natura, perchè comprenda che egli stesso, colle sue opinioni vere o false, colla sua *haute politique*, non è altro che un piccolo e fugace fenomeno della natura, che egli, per dirla con Mefistofele, non è che una parte di una parte, e che è cosa affatto assurda

« che l'uomo, piccola parodia del mondo
« si illuda di essere un mondo egli stesso ».

(Goethe).

VI.

LA SIMMETRIA

Diceva un antico filosofo, che gli uomini i quali si stillavano il cervello intorno alla natura della luna, gli facevano l'effetto di gente che discorra delle istituzioni e dell'amministrazione di una città lontana, di cui non conoscano che il nome. Il vero filosofo, secondo lui, deve rivolgere il suo sguardo all'interno, studiare sè stesso ed i propri concetti intorno alla morale; di qui egli potrà ricavare un reale vantaggio. Quest'antica ricetta avrebbe risultato infallibile, chi la traducesse così, nel linguaggio dei filistei tedeschi: Sta nel tuo paese e abbi cura di nutrirti bene.

Se questo filosofo rivivesse e potesse aggirarsi tra noi, sarebbe certamente meravigliato vedendo che noi la intendiamo in modo affatto opposto.

I movimenti della luna e degli altri corpi celesti ci sono perfettamente noti. Ma la cognizione dei movimenti del nostro proprio corpo è ben lungi dall'essere così compiuta. Abbiamo carte che ci rappresentano esattamente i monti e le regioni della luna; ma i fi-

siologi appena adesso cominciano a sapersi raccapezzare nelle varie regioni del nostro cervello. Si fanno ricerche sulla composizione chimica di varie stelle fisse; ma i procedimenti chimici del corpo animale sono oggetto di questioni molto più complicate e più difficili. Esiste una meccanica celeste; ma sono ancora da scrivere una meccanica sociale ed una meccanica morale fondate su principii ugualmente sicuri.

Il nostro filosofo dovrebbe indubbiamente convenire che noi abbiamo fatto molti progressi. Ma il suo precetto non l'abbiamo seguito. Il paziente è risanato, ma ha fatto quasi il contrario di ciò che gli aveva prescritto il suo dottore.

Gli uomini dal loro viaggio nell'universo, viaggio fatto contro l'espresso consiglio della sapienza antica, hanno riportato qualche po' di esperienza. Dopo avere acquistato conoscenza delle grandi e semplici leggi del mondo esterno hanno preso a studiare coll'occhio del critico il loro piccolo e spregiato *io*. Sembra assurdo, ma non è meno vero: dopo avere studiato la luna, noi possiamo passare allo studio della psicologia. Era necessario che acquistassimo idee semplici e chiare per avere una norma nello studio di argomenti più difficili; questa norma la dobbiamo principalmente all'astronomia.

Tentare una descrizione del grandioso movimento scientifico che prendendo iniziò dalle scienze naturali si è esteso al dominio della psicologia, sarebbe temerità. Io tenterò soltanto di mostrarvi con un esempio dei più semplici, come prendendo le mosse dall'esperienza del mondo fisico si possa arrivare al dominio della psicologia, e precisamente a quello a noi più vicino della percezione dei sensi. Non pretendo però colla mia dimostrazione di darvi un criterio generale dello stato presente di tali questioni scientifiche.

È cosa nota che da certi oggetti riceviamo una impressione gradevole e da altri no. In generale, si produce secondo una regola costante e determinata qualche effetto più o meno gradevole. Vediamo perciò la natura stessa, procedendo sempre secondo regole determinate, produrre una grande quantità di queste cose gradevoli. Ogni giorno il fisico nel suo laboratorio osserva con meraviglia le più belle forme dell'oscillazione e del suono, i più bei fenomeni della polarizzazione, le curve più eleganti.

Una regola presuppone sempre una ripetizione; la ripetizione adunque contribuisce all'effetto gradevole, benchè a dir vero l'essenza di ciò che piace non sia tutta in essa. La ripetizione di un fatto fisico può essere causa di piacere soltanto quando essa sia collegata col ripetersi della sensazione.

Un esempio per confermare che il ripetersi della sensazione può essere piacevole, possiamo trovarlo nei quaderni di ogni scolaro, che sono una miniera di questi fatti e per divenire famosi non abbisognano che degli studi di un abate Domenech. Non poche figure

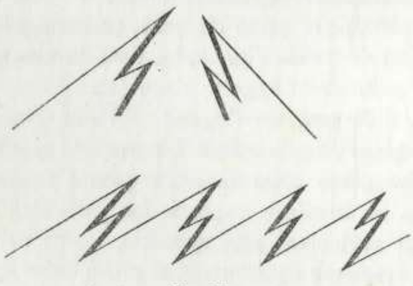


Fig. 25.

che per sè ci sembrano di nessun valore, ripetute più volte e disposte in serie possono dare un discreto motivo ornamentale.

L'effetto gradevole della simmetria dipende anch'esso dal ripetersi delle sensazioni. Soffermiamoci un momento sopra questo concetto, senza pretendere con ciò di poterci formare un concetto compiuto dell'essenza del piacevole e del bello.

Cerchiamo innanzi tutto di formarci un' idea più chiara della simmetria. Trovo preferibile una immagine ad una definizione. Voi sapete che l'immagine riflessa in uno specchio ha la massima somiglianza coll' oggetto stesso; tutti i rapporti di forma e di grandezza sono uguali; tuttavia tra l'oggetto reale e l'immagine di esso vi è qualche differenza.

Ponete dinanzi allo specchio la vostra mano destra, e vedrete una mano sinistra; il vostro guanto destro si sdoppia, e non potreste mai usarlo per rivestirne la mano destra, se l' immagine divenisse un vero guanto; così l'orecchio destro diviene sinistro; in breve tutta la metà destra del vostro corpo corrisponde alla sinistra dell'immagine riflessa nello specchio.

Come un uomo a cui mancasse l' orecchio destro non potrebbe mai sostituirlo con un orecchio sinistro, perchè dovrebbe rivolgerne il lobulo all'insù o l'orifizio del padiglione verso l'interno, così malgrado ogni uguaglianza di forma l'immagine data da uno specchio non può sostituire l'oggetto reale (1).

Questa differenza tra l'oggetto e l'immagine riflessa ha una ragione semplicissima. L'immagine appare tanto lontana dal piano dello specchio quanto l'oggetto riflesso, ma in direzione opposta. Le parti dell'oggetto che più si avvicinano allo specchio, anche nell'immagine si avvicinano ugualmente al piano dello specchio; ma nell'immagine, la serie e l'ordinamento delle parti

(1) Kant con altro scopo accennò a questo caso (*Prolegomeni a qualsiasi futura metafisica*).

si invertono, come si può vedere meglio che altrimenti ponendo davanti allo specchio uno scritto o il quadrante di un orologio.

È facile osservare che se si collega un punto dell'oggetto colla sua immagine la linea che li unisce è perpendicolare allo specchio e da esso è divisa per metà. Questo vale per tutti i punti corrispondenti dell'oggetto e dell'immagine riflessa.

Se ora abbiamo un oggetto che per mezzo di un piano si possa dividere per metà, in modo che ciascuna metà corrisponda all'altra come se ciascuna di queste fosse riflessa da uno specchio, diciamo che questo oggetto è simmetrico, e il piano che lo divide in due si chiama piano di simmetria.

Se il piano di simmetria è verticale, diremo che il corpo è verticalmente simmetrico, come ad esempio una cattedrale gotica; se il piano di simmetria è orizzontale, potremo dire che l'oggetto è orizzontalmente simmetrico; un paesaggio che si specchi in un lago costituisce colla sua immagine un sistema di simmetria orizzontale.

Ma qui è da osservare una notevole differenza. La simmetria verticale di una cattedrale gotica si riconosce a primo tratto, mentre molti viaggiano su e giù per il Reno senza mai osservare la simmetria orizzontale tra le sponde e la loro immagine riflessa dal fiume. La simmetria verticale è gradevole, mentre la simmetria orizzontale è indifferente, e si osserva solo da un occhio esercitato.

Donde viene questa differenza? Io dico che la simmetria verticale determina un ripetersi della medesima sensazione, il che non fa la simmetria orizzontale.

Osserviamo le seguenti lettere:

d b
q p

È un fatto noto alle mamme ed ai maestri che i bambini nei loro primi esercizi di lettura e di scrittura scambiano spesso il *d* col *b* ed il *p* col *q*, ma non avviene mai che scambino il *d* col *q* od il *b* col *p*; ora il *d* ed il *b*, il *q* ed il *p* sono le due metà di una figura verticalmente simmetrica, mentre il *d* col *q* ed il *b* col *p* costituiscono una simmetria orizzontale. Tra le prime avviene lo scambio, che è possibile soltanto tra cose che producono sensazioni uguali o somiglianti.

Si vedono spesso ad ornamento di sale e di giardini due figure di donna, delle quali l'una porta un canestro di fiori nella mano destra e l'altra nella sinistra. Se non si fa attenzione si scambia facilmente l'una di queste figure coll'altra.

Mentre la trasposizione da destra a sinistra per lo più non si avverte, l'occhio non rimane indifferente alla trasposizione dal basso in alto. Un viso umano capovolto ha un aspetto per noi stranissimo e diviene quasi irriconoscibile. Questo non dipende unicamente dalla mancanza di abitudine, perchè è ugualmente difficile riconoscere un arabesco capovolto, e in questo caso l'abitudine non c'entra. Su questo fatto si fondano i noti scherzi che si fanno col ritratto di certi personaggi impopolari, disegnandoli in modo che se si tengono diritti si vede un volto umano, e se si capovolgono appare la figura di qualche animale.

È adunque un fatto che le due metà di una figura verticalmente simmetrica si scambiano facilmente l'una coll'altra, ed è pure verosimile che esse producano sensazioni molto somiglianti. Si tratta ora di spiegare perchè le due metà di una figura verticalmente simmetrica producano sensazioni uguali o somiglianti. La risposta è questa: perchè il nostro apparecchio visivo, composto di due occhi, è anch'esso verticalmente simmetrico.

Per quanto esternamente l'uno degli occhi somigli all'altro, tuttavia non sono uguali. Il nostro occhio destro non potrebbe sostituirsi al sinistro, come non potremmo scambiare l' una coll' altra le nostre due orecchie o le nostre due mani. Possiamo artificialmente scambiare l'ufficio dei due occhi: in tal caso ci parrà di trovarci in un mondo affatto nuovo. Ogni prominenza ci sembrerà una cavità, e viceversa, le cose lontane parranno vicine, etc.

L'occhio sinistro è l'immagine riflessa del destro, e più precisamente la retina dell'occhio sinistro che riceve l'impressione della luce è in tutta la sua struttura l'immagine della retina dell'occhio destro.

La lente dell'occhio, operando come una lanterna magica produce sulla retina una immagine degli oggetti esterni. Potete rappresentarvi la retina colle sue innumerevoli nervature come una mano dalle innumerevoli dita, costruita per tastare l'immagine luminosa. Le terminazioni dei nervi differiscono tra loro nè più nè meno delle dita; tra le due retine c'è lo stesso rapporto che tra la mano destra e la sinistra nella funzione del tatto.

Immaginiamo la metà destra di un **T** : **Γ**. In luogo delle due retine sulle quali si produce questa immagine, poniamo le due mani distese per toccare. La figura **Γ**, toccata colla mano sinistra dà una sensazione diversa da quella che si ha toccandola colla sinistra. Volgendo il mezzo **T** (**Γ**) da destra a sinistra la mano sinistra riceve la stessa impressione ricevuta prima dalla destra. La sensazione si ripete.

Prendiamo un **T** intiero; la metà destra produce nella mano destra la stessa impressione che la metà sinistra nella mano sinistra, e viceversa.

La figura simmetrica produce due volte la medesima sensazione.

Volgendo il **T** in questa maniera: ⊢, o volgendo il mezzo **T** in quest'altra: **L**, se non muto la posizione delle mie mani, questa osservazione non ha più luogo.

In realtà le retine equivalgono alle due mani: esse hanno pollici ed indici a migliaia: potremmo dire che i pollici sono rivolti verso il naso e le altre dita verso l'esterno.

Spero di essere riuscito a spiegarvi in modo chiaro e compiuto come l'effetto gradevole della simmetria dipenda dal ripetersi della sensazione, e come nelle forme simmetriche questo effetto si produca soltanto quando avvenga questa ripetizione. L'effetto gradevole delle forme regolari, la preferenza che concediamo alle linee rette, specialmente orizzontali e verticali, sopra qualsiasi altra linea, dipendono da un motivo analogo. La linea retta verticale od orizzontale può produrre sulle due retine la stessa immagine, la quale cade sopra punti simmetricamente corrispondenti. Su questo si fonda, a quanto pare, la preferenza psicologica per la linea retta rispetto alla curva, e non nel fatto che la linea retta è il più breve cammino tra due punti. La linea retta, a farla breve, dà per sè stessa la sensazione della simmetria. come il piano. La linea curva ci sembra una deviazione dalla linea retta e dalla simmetria (1). Ma come avvenga che coloro i quali dalla nascita hanno un occhio solo abbiano tuttavia il senso della simmetria, è un problema ancora insoluto. Cer-

---

(1) Il fatto che il primo e il secondo quoziente differenziale di una curva sono immediatamente sensibili, il che non avviene dei quozienti ulteriori, si spiega facilmente. Il primo dà la situazione della tangente, la deviazione della retta dalla posizione di simmetria, il secondo la deviazione dalla curva della retta.

tamente il senso ottico della simmetria, benchè si acquisti principalmente per mezzo degli occhi, non può essere limitato a questi. Esso deve essersi stabilito anche in altre parti dell'organismo per effetto della millennaria esperienza della specie umana, tanto che la mancanza di un occhio non è sufficiente a distruggerlo.

Tuttavia in generale pare che esso abbia il suo fondamento nella particolare struttura dei nostri due occhi. È cosa facile da comprendere che il nostro concetto del bello e del non bello sarebbe diverso se diversi fossero i nostri occhi. Se il nostro ragionamento è esatto, necessariamente ci sembrerà poco razionale il concetto della così detta bellezza eterna. È quasi incredibile che la civiltà, la quale impresse così profondo ed evidente il suo carattere sull' organismo umano, non abbia modificato anche l'idea del bello. Vi fu pure un tempo in cui tutto il bello musicale si svolgeva nell'angusto ámbito di una scala di cinque note.

Il fenomeno dell'effetto gradevole delle sensazioni ripetute non è limitato al visibile. Il musico ed il fisico sanno che l'aggiunta armonica o melodica di un suono ad un altro produce un effetto gradevole solo quando il secondo suono riproduca una parte della sensazione data dal primo. Se al tono fondamentale aggiungo l'ottava, sento nell' ottava una parte di ciò che si sente nel tono fondamentale. Trattare qui estesamente la questione, è fuori del mio assunto; per oggi metteremo solo innanzi la questione, se anche nel dominio dei suoni ci sia qualche cosa di analogo alla simmetria delle forme.

Osserviamo un pianoforte nello specchio. Osserverete facilmente che un simile pianoforte non l'avete mai veduto, perchè esso ha le note alte a sinistra e

le note basse a destra. Di tali pianoforti non se ne fabbrica.

Se ora immaginiamo di sedere ad un pianoforte simile a quello che si vede nello specchio, e di voler sonare nel modo ordinario, è evidente che ogni passaggio da un tasto all'altro, che noi crediamo eseguire secondo la scala ascendente, avverrà invece in iscala discendente. L'effetto sarà stranissimo.

Per il musico esercitato, che è avvezzo ad associare la sensazione di certe note alla percussione di certi tasti, è già uno spettacolo singolare vedere nello specchio un altro sonatore il quale fa sempre il contrario di ciò che realmente si ode.

Ancora più singolare sarebbe l'effetto se vi provaste ad eseguire, sul pianoforte quale si vede nello specchio, un' armonia. Nella melodia non è la stessa cosa eseguire il passaggio da una nota ad un' altra in senso ascendente o in senso discendente. Nell'armonia invece l'inversione non produce una differenza così grande; la consonanza rimane la stessa, sia che ad una nota fondamentale io faccia seguire una terza superiore od una terza inferiore. È invertito soltanto l'ordine degli intervalli.

In realtà se sul pianoforte invertito eseguiamo un passaggio in maggiore ne risulta un passaggio in minore e viceversa.

Si tratta ora di eseguire l'esperimento sopra descritto. Invece di sonare sul pianoforte che si vede nello specchio, il che è impossibile, o di far costruire un pianoforte invertito, il che sarebbe un po' troppo costoso, possiamo fare il nostro esperimento in modo più semplice, che è il seguente:

1° Sediamo al nostro solito pianoforte, soniamo qualche accordo e poi ripetiamo sopra di esso quello che abbiamo veduto nel pianoforte riflesso dallo spec-

chio. In tal modo ripetiamo in senso discendente quello che prima abbiamo eseguito in senso ascendente; sonata una frase, ripetiamo la frase che ad essa è simmetrica rispetto alla tastiera.

2° Poniamo sotto il foglio della musica uno specchio, nel quale le note si riflettano come in una superficie acquea, e soniamo secondo lo specchio. Anche in tal modo tutti i passaggi ascendenti si convertono in passaggi discendenti o viceversa.

3° Voltiamo il foglio della musica e leggiamo dal basso in alto e da destra a sinistra. In tal modo tutti i diesis debbono essere sostituiti da bemolli e viceversa, perchè corrispondono alle mezze righe ed agli intervalli tra le righe. Inoltre seguendo il foglio della musica non si può usare che la chiave di basso, perchè soltanto in questa i passaggi da una nota all'altra non risultano alterati dalla inversione simmetrica.

Dagli esempi addotti nella pagina 88 si può avere un'idea dell'effetto di questo esperimento. La linea superiore contiene una frase musicale, l'inferiore la stessa frase invertita simmetricamente.

L'effetto di questo procedimento si spiega in poche parole: la melodia diviene irriconoscibile, e l'armonia subisce una trasposizione dal maggiore al minore e viceversa. Lo studio di questo interessante fenomeno, noto ai musicisti come ai fisici, è stato recentemente accresciuto di nuovi dati da v. Oettingen (1).

Sebbene in tutti gli esempi sopra riferiti ogni passaggio ascendente si converta in un equivalente passaggio discendente, cosicchè si può dire che di ogni frase si eseguisce la frase simmetrica, tuttavia l'orecchio quasi non si accorge della simmetria. Il solo in-

---

(1) A. v. Oettingen, *Sistema di armonia nello sviluppo binario,* Dorpat 1866.



Fig. 26.

dizio di tale simmetria è la trasposizione dal maggiore al minore e viceversa; la simmetria c'è per l'intelletto, ma non per la sensazione. Per l'orecchio non esiste simmetria, perchè una inversione dei passaggi da una nota all'altra non produce un ripetersi della sensazione. Se avessimo un orecchio per i suoni alti ed un altro per i suoni bassi, come abbiamo un occhio per gli oggetti posti alla nostra destra ed uno per quelli che ci stanno a sinistra, avvertiremmo anche l'esistenza di figure sonore simmetriche. Il contrasto tra il maggiore ed il minore corrisponde per l' occhio ad una inversione dal basso all'alto; anche questa per l' intelletto è simmetria, ma il senso non la percepisce come tale.

A complemento di quanto ho detto aggiungerò alcune brevi osservazioni per quella parte del mio benevolo uditorio che ha una cultura matematica.

La nostra notazione musicale è essenzialmente una rappresentazione grafica della composizione musicale in forma di curve, nella quale il tempo equivale alla ascissa e il logaritmo del numero delle vibrazioni all'ordinata. Se talora la notazione si discosta da questo principio, ciò avviene per facilitare la lettura o per ragioni storiche.

Se si osserva ancora che la sensazione dell'altezza delle note è proporzionale al logaritmo dal numero delle vibrazioni, come pure la distanza tra i tasti corrisponde alle differenze di essi logaritmi, si può con piena ragione asserire che le armonie e le melodie lette nello specchio sono in certo senso simmetriche all'originale.

Con queste spiegazioni analitiche molto frammentarie mi sono proposto unicamente di darvi una idea della utilità che i progressi delle scienze naturali hanno

recato a quelle parti della psicologia che hanno voluto porsi in benevola relazione con esse. Ma anche la psicologia, quasi per gratitudine, comincia alla sua volta a ricambiare alle scienze naturali il potente impulso che da esse ha ricevuto.

Quelle teorie fisiche per le quali ogni fenomeno poteva ricondursi al movimento ed all'equilibrio delle minime parti dei corpi, le cosidette teorie molecolari, sono state alquanto scosse nei loro fondamenti dal progredire della teoria dei sensi e dello spazio; si può dire che i loro giorni sono contati.

D'altra parte ho tentato di dimostrare che la serie dei suoni non è altro che una forma dello spazio, che però ha una dimensione unica, o meglio unilaterale. Se ora alcuno, prendendo per base il solo senso dell'udito, tentasse di farsi un concetto del mondo nel suo spazio lineare, il suo concetto risulterebbe molto insufficiente, perchè la sua idea dello spazio non basterebbe a spiegargli la molteplicità delle relazioni del mondo reale. Ma dobbiamo pur dire che nulla ci autorizza a credere di poter concentrare nell'ámbito del nostro occhio tutto l'universo, non esclusa quella parte di esso che non può essere conosciuta colla vista. E questo è appunto il caso di tutte le teorie molecolari. Noi possediamo un senso che per quanto riguarda la molteplicità delle relazioni che può comprendere, ha facoltà molto più estese di qualsiasi altro. Esso è la nostra ragione, la quale sta sopra i sensi, e sola è in grado di darci del mondo un concetto adeguato e duraturo. Il concetto meccanico del mondo, da Galileo in poi, ha prodotto grandi cose; ma è tempo che esso ceda il campo ad un più libero modo di vedere. Spiegarvi più estesamente questo argomento non è nel mio assunto (1).

(1) Cfr. artic. II.

Io volevo soltanto mettere in chiaro un altro punto. Il precetto del filosofo da noi citato, di limitare le nostre investigazioni agli oggetti prossimi ed utili, che in certo modo si riflette nell'odierna tendenza degli scienziati all'isolamento ed alla divisione del lavoro, non conviene ad ogni tempo. Noi talora nel nostro gabinetto ci stilliamo inutilmente il cervello intorno ad un lavoro, è forse gli strumenti per condurlo a termine si trovano appena fuori della porta.

Se anche lo scienziato fosse come un calzolaio, che picchia la suola seduto al suo deschetto, forse è bene che egli sia un calzolaio come Hans Sachs, e che non isdegni di dare un'occhiata al lavoro del suo vicino, e di farvi sopra i suoi commenti. Questo dico perchè vogliate scusarmi se oggi mi sono permesso di guardare un po' più in là del mio deschetto (1).

(1) Il problema qui accennato è trattato più ampiamente nel mio scritto " Contributo all'analisi delle sensazioni „, Jena 1866. Anche P. J. Soret, *Sur la perception de la vue* (Genève 1892), considera la ripetizione come un principio di estetica. Il Soret tratta la questione estetica più ampiamente di me; tuttavia quanto al fondamento fisiologico e psicologico dell'estetica credo di essere andato più innanzi di lui.

VII.

OSSERVAZIONI SULLA TEORIA DELLA VISIONE SPAZIALE.

Secondo Herbart la visione spaziale si fonda sopra una serie di riproduzioni. Se ciò è vero, è evidente che la grandezza dei residui coi quali le rappresentazioni si sono per così dire incorporate (i sussidi della coalescenza) deve avere una influenza essenziale. Inoltre, essendo necessario che questa coalescenza avvenga, prima che questi residui si manifestino, ed entrando in azione, tosto che essi si manifestano, anche le condizioni inibitorie, ne risulta per conseguenza che, non tenendo conto della eventuale successione temporale nella quale si producono tali rappresentazioni, nella percezione dello spazio tutto dipende dalle opposizioni e dalle affinità, o in una parola dalle qualità delle rappresentazioni che compongono la serie.

Consideriamo ora in quale rapporto stia questa teoria rispetto ai fatti speciali:

1° Se l'esistenza della percezione spaziale non esige altro che serie interferenti, procedenti avanti ed indietro, perchè non troviamo nessun fatto analogo negli altri sensi?

2° Perchè misuriamo noi con una misura di spazio oggetti diversi di colore o variopinti? Come riconosciamo che più oggetti di colore diverso hanno la stessa grandezza? E in generale, donde prendiamo questa misura di spazio, e che cosa è essa?

3° Donde viene che figure uguali ma di colore diverso si riproducono reciprocamente e sono riconosciute uguali?

Basti di queste difficoltà. Herbart coll'aiuto della sua teoria non le può superare. Chi giudichi senza prevenzione riconoscerà tosto che la sua " inibizione per causa della forma „ e la condizione contraria a questa, sono senz'altro impossibili. Si pensi all'esempio herbartiano della lettera rossa e della lettera nera.

Il sussidio della coalescenza è per così dire un passaporto intitolato al nome ed alla persona della rappresentazione. Una rappresentazione che si è incorporata con un' altra, non può riprodurre tutte le altre qualitativamente diverse, per l'unica ragione che queste si sono in simile maniera incorporate tra loro. È evidente che la ragione del riprodursi di due serie qualitativamente diverse non è l'avere esse la stessa successione di gradi di coalescenza.

Posto per fermo che non si riproducono se non fatti uguali e fatti contemporanei, ed è questo un principio della psicologia herbartiana che anche il più rigoroso empirista non può mettere in dubbio, non rimane altro che modificare la teoria della percezione di spazio, o trovarle un nuovo principio nella maniera sopra esposta, al che non è facile decidersi, poichè il nuovo principio porterebbe in tutta la psicologia una gravissima confusione.

Quanto alla modificazione, non si può a lungo dubitare del come essa sia possibile, in considerazione dei fatti ed in conformità degli stessi principii di

Herbart. Quando si riproducono due figure uguali ma diverse di colori, e le riconosciamo come uguali, questo avviene in virtù delle rappresentazioni qualitativamente uguali contenute nelle due serie rappresentative. Ma i colori sono diversi. Adunque ai colori noi dobbiamo associare altre rappresentazioni uguali indipendenti da essi. Noi non abbiamo a cercarle tanto lontano: le due figure producono serie uguali di sensazioni muscolari dell'occhio. Potremmo dire che noi perveniamo alla visione dello spazio mediante l'ordinamento di sensazioni luminose in un registro di sensazioni muscolari graduate (1).

Ancora alcune considerazioni che rendono verosimile la funzione delle sensazioni muscolari. L'apparato muscolare di un occhio è asimmetrico; i due occhi formano un sistema di simmetria verticale; questo ci dà la spiegazione di vari fatti.

1° La posizione di una figura influisce sul nostro modo di vederla. Secondo la posizione si producono in noi nell'atto del guardare sensazioni muscolari diverse, e varia con queste l'impressione. Per riconoscere una lettera rovesciata ci vuole molta esperienza. Il migliore esempio ci è dato dalle lettere *d*, *b*, *p*, *q*, le quali presentano in diverse posizioni la stessa figura, e si percepiscono come figure diverse (2).

2° L'attento osservatore non può non accorgersi che per le medesime ragioni, data la stessa figura e la stessa posizione, la visione dipende anche dal punto che noi fissiamo. Pare che la figura si modifichi mentre la guardiamo. Ad esempio una stella di otto punte,

---

(1) Cfr. MACH, *Della visione delle posizioni e degli angoli* (*Atti dell'Accad. di Vienna*, 1861).

(2) Cfr. CORNELIUS, *Della vista;* WUNDT, *Teoria della percezione dei sensi.*

costruita in un ottagono regolare congiungendo l'angolo 1 coll'angolo 4, il 4 col 7, e così di seguito, saltando sempre due angoli, secondo il nostro modo di guardarla acquista a vicenda un carattere più architettonico od un carattere più libero. Le linee orizzontali e verticali si percepiscono sempre in modo diverso dalle oblique.

3° Noi preferiamo la simmetria verticale, come qualche cosa di particolare; della simmetria orizzontale non abbiamo la percezione immediata; ciò è una conseguenza della simmetria verticale dell'apparato mu-

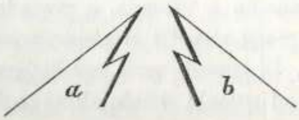


Fig. 27.

scolare dell'occhio. La metà sinistra *a* di una figura verticalmente simmetrica produce nell'occhio sinistro la medesima sensazione muscolare che la metà destra *b* nell'occhio destro. Se la simmetria è gradevole ciò dipende innanzi tutto dalla ripetizione della sensazione muscolare. Che avvenga una ripetizione, la quale talora può perfino farci scambiare un oggetto con un altro, è cosa dimostrata non meno dalla teoria che dal fatto noto ad ogni maestro di scuola, che i fanciulli assai spesso scambiano figure verticalmente simmetriche, scrivendo ad esempio E invece di 3, e solo dopo molto tempo osservano la lieve differenza; ma lo scambio non avviene mai tra figure orizzontalmente simmetriche. A dimostrare poi che la ripetizione delle sensazioni muscolari possa essere gradevole, ce lo dimostra la fig. 27. Come è facile vedere, le rette verticali ed orizzontali producono condizioni simili a quelle delle figure simmetriche, ma tali condizioni sono turbate ap-

pena alla linea si dà la direzione obliqua. Ciò è da confrontarsi colle osservazioni di Helmholtz sopra la ripetizione e la coincidenza dei toni parziali.



Fig. 28.

Mi si consenta qui una osservazione più generale. È un fenomeno universale nella psicologia che certe serie di rappresentazioni qualitativamente affatto diverse si richiamano a vicenda, a vicenda si riproducono, e sotto certi rispetti si presentano come uguali o somiglianti. Di queste serie noi diciamo che sono di forma simile od uguale, dando all'uguaglianza astratta il nome di forma.

1° Delle figure spaziali abbiamo già parlato.

2° Diciamo uguali due melodie, per quanto diversa sia la loro altezza tonale assoluta, quando rileviamo in esse la stessa serie di relazioni tra le altezze tonali. Possiamo scegliere due melodie nelle quali non ci siano nemmeno due suoni concomitanti comuni all'una ed all'altra; tuttavia le riconosciamo come uguali. Anzi più facilmente rileviamo la forma della melodia, e la riconosciamo più facilmente che non l'altezza tonale assoluta nella quale essa fu sonata.

3° Noi riconosciamo in due melodie, per quanto diverse esse siano, il medesimo ritmo, anzi rileviamo e riconosciamo il ritmo più facilmente che non il tempo assoluto.

Questi esempi possono bastare. In tutti questi casi il riconoscimento e l'eguaglianza non possono dipendere dalle qualità delle rappresentazioni, perchè queste sono diverse; d'altra parte il riconoscimento, secondo i principii della psicologia, è solo possibile in rappre-

sentazioni uguali per qualità. Adunque non c'è altra via d'uscita se non pensare che le rappresentazioni qualitativamente uguali di due serie siano necessariamente connesse con altre qualitativamente uguali.

Come figure uguali e di colore diverso producono uguali sensazioni muscolari, per le quali si riconosce l'eguaglianza di esse figure, così dovremo necessariamente ritenere che tutte le forme in generale, e potremmo dire tutte le astrazioni, hanno fondamento in rappresentazioni di particolare qualità. Questo vale sia per lo spazio e per la forma come per il tempo, per il ritmo, per la tonalità, per la forma della melodia, per l'intensità, ecc. Ma donde deriverà la psicologia tutte queste qualità? Non ce ne diamo pensiero; esse si troveranno, come si sono trovate le sensazioni muscolari per la teoria dello spazio. L'organismo è ancora abbastanza ricco per sopperire a tutte le esigenze della psicologia in questo senso, e sarebbe tempo di considerare seriamente quella " risonanza corporea " di cui la psicologia parla così spesso e volentieri.

Qualità psichiche diverse sembrano avere un intimo rapporto di reciprocità. Le ricerche speciali sopra questo argomento verranno in seguito, come pure la dimostrazione della applicabilità di questa osservazione alla fisica in generale (1).

---

(1) Cfr. MACH, *Della teoria dell'organo dell'udito* (*Atti dell'Accad. di Vienna*, 1863); *Di alcuni fenomeni dell'acustica fisiologica* (*ibidem*, 1864).

VIII.

DEL PRINCIPIO DELLA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA (1).

Il celebre fisico Joule, in una sua conferenza popolare, mirabile per elegante semplicità e chiarezza, tenuta nel 1847 (2), spiega come la forza vivente acquistata da un grave nel cadere da una determinata altezza, forza che esso ha in sè e che si manifesta nella velocità che esso ha acquistata, sia l'equivalente dell'attrazione che si produce nello spazio della caduta, e che sarebbe assurdo l'ammettere che tale forza vivente possa essere distrutta senza reintegrare questo equivalente. Egli aggiunge: " Voi udrete con meraviglia che fino a tempi molto recenti l'opinione universale fu che la forza vivente possa essere irrevocabilmente e assolutamente distrutta, senza alcun mezzo termine ". Aggiungiamo che oggi, dopo quarantasette anni, la legge della conservazione dell'energia, presso tutti i popoli

(1) Questo articolo apparve la prima volta in inglese (*The Monist*, vol. V, p. 22).

(2) " On Matter, Living Force, and Heat " (Joule, *Scientific Papers*, I, p. 466).

colti, ha il valore di una verità che ha trovato la sua perfetta espressione, e che ha innumerevoli applicazioni in tutti i rami delle scienze fisiche.

Il destino di tutte le verità più luminose e più importanti è sempre lo stesso; al loro primo apparire esse sono considerate come errori dalla maggior parte degli uomini. Così il lavoro di J. R. Mayer sul principio dell'energia (1842) fu rifiutato dal più autorevole giornale tedesco di scienze fisiche; lo studio di Helmholtz (1843) non ebbe miglior sorte, e da una notizia di Playfair, pare che anche Joule nella sua prima pubblicazione (1843) abbia incontrato non lievi difficoltà. Ma poco a poco si riconosce che la nuova idea in un lungo periodo preparatorio era già pervenuta a maturità, e che soltanto pochi intelletti privilegiati l'avevano accolta prima degli altri, donde appunto l'ostilità del maggior numero. Quando si comincia a vedere la fecondità di una nuova idea, quando essa ottiene qualche successo, allora cresce verso di essa la fiducia degli uomini. La maggior parte degli uomini, che trae un'utilità dalla nuova idea, non può studiarla a fondo; per essa l'idea è giustificata dal successo. Così può avvenire che una teoria dalla quale derivarono scoperte importantissime, come la teoria di Black intorno alle sostanze calorifiche, in tempi posteriori ed in rami della scienza ai quali non è applicabile, divenga un ostacolo al progresso, in quanto per così dire rende ciechi gli uomini rispetto a certi fatti che ad essa contraddicono. Se si vuole evitare il pericolo che una teoria divenga fonte di dubbiezze, è necessario di tempo in tempo sottoporre ad accurata investigazione i fondamenti e le ragioni del suo sviluppo e della sua esistenza.

Mediante il lavoro meccanico si possono produrre le più svariate modificazioni fisiche (termiche, elettriche, chimiche, ecc.). Invertendo queste modificazioni, si ot-

tiene di nuovo il lavoro meccanico, nella precisa misura che era necessaria a produrre il fenomeno nel quale è avvenuta l'inversione. In questo consiste la massima della conservazione dell'energia. Il vocabolo di energia è entrato poco a poco nell'uso per indicare quel *quid* indistruttibile, di cui è indice il lavoro meccanico. Come siamo noi pervenuti a questo concetto? Da quale fonte lo abbiamo derivato? La questione è di somma importanza non solo per sè stessa, ma anche per il motivo sopra accennato.

Le opinioni intorno al fondamento della legge dell'energia sono in oggi ancora molto discordi. Alcuni riconducono la legge dell'energia alla impossibilità del moto perpetuo, sia poi che tale impossibilità essi considerino come una verità intuitiva o come dimostrata dall'esperienza. Nel campo della meccanica pura l'impossibilità del moto perpetuo, ossia della produzione non mai interrotta di lavoro senza permanente modificazione, si dimostra facilmente. Se dunque si parte dal principio che tutti i fenomeni fisici non sono che fenomeni meccanici, ossia movimenti delle molecole e degli atomi, fondandoci su questa concezione meccanica della fisica comprenderemo anche l'impossibilità del moto perpetuo in tutto il dominio della fisica. Questa è la dottrina oggi quasi universalmente seguita. Ma alcuni scienziati non ammettono che una dimostrazione puramente sperimentale della legge dell'energia.

Dimostreremo in seguito che tutti i momenti ai quali abbiamo accennato contribuirono effettivamente allo svolgimento della teoria da noi posta in questione, ma che vi è inoltre una necessità logica e puramente formale, finora alquanto trascurata, la quale in questo svolgimento ha avuto una parte essenziale.

1. *Il principio della negazione del moto perpetuo.*

La legge dell'energia nella sua forma attuale non è propriamente identica al principio della negazione del moto perpetuo; tuttavia vi è tra loro una stretta relazione. Ma il principio citato non è affatto nuovo, come quello che nel dominio della meccanica già da secoli ha guidato i più insigni pensatori nelle loro investigazioni. Mi sia concesso di recare a conferma di ciò che dico alcuni esempi storici.

S. Stevinus (*Hypomnemata mathematica*, tom. IV, *de Statica*, pag. 34, Leida 1605) si occupa dell'equilibrio sopra i piani inclinati.

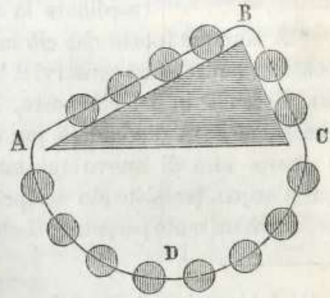


Fig. 29.

Sopra un prisma triangolare ABC (rappresentato in sezione nella figura 29), del quale una faccia è orizzontale, si avvolge una catena composta di quattordici pallottole di egual peso ed egualmente ripartite. Potendosi astrarre dalla parte inferiore e simmetrica della collana ADC, Stevin conchiude che le quattro pallottole situate in AB mantengono l'equilibrio delle due pallottole in BC. Poichè se l'equilibrio fosse per un momento turbato, non potrebbe più esistere, e la catena dovrebbe sempre girare nello stesso senso, producendo un moto perpetuo.

" E posto che ciò sia, la serie o collana delle pallottole si troverà di nuovo nella stessa posizione, e per lo stesso motivo le otto pallottole a sinistra pe-

seranno più delle sei a destra; perciò di nuovo le otto pallottole discenderanno e le sei saliranno; così questa serie di pallottole produrrà un moto continuo ed eterno, il che è falso „ (1).

Di qui Stevin deriva facilmente la legge dell'equilibrio sui piani inclinati e molte altre feconde conseguenze.

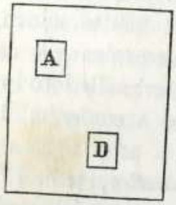


Fig. 30.

Nella parte della sua opera che tratta dell'idrostatica, a pagina 114 Stevin pone questo principio:

“ Una data massa di acqua conserva il luogo ad essa assegnato dentro l'acqua „ (2).

Questo principio è così dimostrato mediante la fig. 30:

“ A dunque (posto che ciò in qualche modo naturale possa avvenire), non conservi il luogo ad essa assegnato, ma discenda in D; ciò posto, anche la massa d'acqua che segue ad A discenderà, per la stessa causa, verso D, e questa sarà di nuovo spostata da un'altra, e così quest'acqua (sussistendo sempre la causa sopradetta) produrrà un moto perpetuo, il che sarebbe assurdo „ (3).

---

(1) “ Atqui hoc si sit, globorum series sive corona eumdem situm cum priore habebit, eademque de causa octo globi sinistri ponderosiores erunt sex destris, ideoque rursus octo illi descendent, sex illi ascendent, istique globi ex sese continuum atque aeternum motum efficient, quod est falsum „.

(2) “ Aquam datam, datum sibi intra aquam locum servare „.

(3) “ A igitur (si ullo modo per naturam fieri possit) locum sibi tributum non servato, ac delabatur in D; quibus positis aqua quae ipsi A succedit eandem ob causam defluet in D, eademque ab alia isthinc expelletur, atque adeo aqua haec (cum ubique eadem ratio sit, motum instituet perpetuum, quod absurdum fuerit „.

Di qui si derivano tutti i principii dell'idrostatica. Prendendo occasione di qui Stevin svolge per primo il pensiero, così fecondo per la moderna meccanica analitica, secondo il quale l'equilibrio di un sistema non viene turbato quando vi si aggiungano collegamenti stabili. E noto, ad esempio, che oggi il principio della conservazione dell'energia si deriva dal principio di D'Alembert coll'aiuto di questa osservazione.

Se noi volessimo ora riprodurre la dimostrazione di Stevin, dovremmo introdurvi qualche modificazione. Noi non troviamo nessuna difficoltà nell'immaginarci che la catena, eliminate le resistenze, si muova con moto uniforme e perpetuo intorno al suo prisma. Al contrario l'ipotesi di un movimento accelerato od anche di un movimento uniforme, ove non siano eliminate le resistenze, sarebbe da noi respinta. Si potrebbe anche per rendere più efficace la dimostrazione sostituire alla catena di pallottole una fune pesante, uniforme e perfettamente flessibile.

Questo non toglie nulla al valore storico dei ragionamenti di Stevin. È un fatto che Stevin dal principio della negazione del moto perpetuo deriva molte verità in apparenza assai semplici.

Nel procedimento razionale che condusse Galileo alle sue scoperte, ha una parte importante il principio, che un corpo per effetto della velocità acquistata nella caduta può risalire ad altezza eguale a quella dalla quale è caduto. Ma questo principio, che in Galileo ricorre spesso, esposto con grande chiarezza, non è poi che un'altra forma del principio della negazione del moto perpetuo, come vedremo in Huygens.

È noto che Galileo mediante le sue speculazioni trovò il principio del moto uniformemente accelerato nella caduta essere " il più semplice e naturale tra tutti " dopo averne ammesso un altro e dimostratolo

errato. Ma per dimostrare la sua legge della caduta istituì esperienze sopra la caduta lungo un piano inclinato, determinando il tempo di essa mediante il peso dell'acqua defluente da un vaso in sottile zampillo. In tal modo egli stabilisce il principio che la velocità acquisita sopra il piano inclinato corrisponde sempre alla caduta verticale, il che per lui risulta dal fatto, che un corpo cadente da un piano inclinato ed ascendente sopra un altro piano di qualsivoglia inclinazione colla sua velocità sale sempre ed unicamente ad una eguale altezza verticale. Il principio relativo all'altezza dell'ascensione, a quanto pare, lo ha condotto anche al principio dell'inerzia. Udiamo l'ingegnosa spiegazione che egli ne fa nel Dialogo terzo (*Opere,* tom. III, Padova 1744). A pag. 96 così egli si esprime:

" Io ammetto, che le velocità acquisite da un mobile nella sua caduta sopra piani diversamente inclinati siano uguali quando uguale sia l'elevazione verticale di questi piani „ (1).

A ciò il Salviati risponde con queste osservazioni:

" Voi molto probabilmente discorrete, ma oltre al verisimile voglio con una esperienza crescer tanto la probabilità, che poco gli manchi all'uguagliarsi ad una ben necessaria dimostrazione. Figuratevi questo foglio essere una parete eretta all'orizzonte, e da un chiodo fitto in esso pendere una palla di piombo del peso di un'oncia o due, sospesa dal sottil filo AB lungo due o tre braccia perpendicolare all'orizzonte, e nella parete segnate una linea orizzontale DC segante a squadra il perpendicolo A B, il quale sia lontano dalla parete

(1) " Accipio, gradus velocitatis eiusdem mobilis super diversas planorum inclinationes acquisitos tunc esse aequales, cum eorumdem planorum elevationes aequales sint „.

due dita in circa; trasferendo poi il filo AB colla palla in AC, lasciate essa palla in libertà, la quale primieramente vedrete scendere descrivendo l'arco CBD,

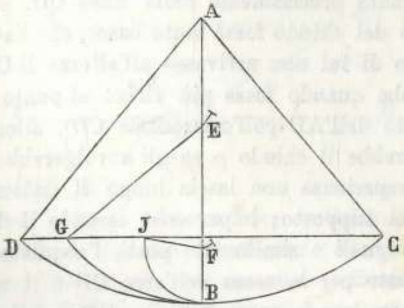


Fig. 31.

e di tanto trapassare il termine B, che scorrendo per l'arco BD sormonterà fino quasi alla segnata parallela CD, restando di pervenirvi per piccolissimo intervallo, toltogli il precisamente arrivarvi dall'impedimento dell'aria e del filo. Dal che possiamo veracemente concludere, che l'impeto acquistato nel punto B dalla palla nello scendere per l'arco CB fu tanto che bastò a risospingersi per un simile arco BD alla medesima altezza; fatta e più volte reiterata cotale esperienza, voglio che ficchiamo nella parete rasente al perpendicolo AB un chiodo come in E ovvero in F, che sporga in fuori cinque o sei dita, e questo acciocchè il filo AC tornando come prima a riportar la palla C per l'arco CD, giunta che ella sia in B, intoppando il filo nel chiodo E, sia costretta a camminare per la circonferenza BC descritta intorno al centro E, dal che vedremo quello che potrà far quel medesimo impeto, che dianzi concepito nel medesimo termine B, sospinse l'istesso mobile per l'arco ED all'altezza dell'orizzontale CD. Ora, signori, voi vedrete con gusto condursi la palla al-

l'orizzontale nel punto G, e l'istesso accadere se l'intoppo si mettesse più in basso, come in F, dove la palla descriverebbe l'arco BJ, terminando sempre la sua salita precisamente nella linea CD, e quando l'intoppo del chiodo fosse tanto basso, che l'avanzo del filo sotto di lui non arrivasse all'altezza di CD (il che accadrebbe quando fosse più vicino al punto B che al segamento dell'AB coll'orizzontale CD), allora il filo cavalcherebbe il chiodo e se gli avvolgerebbe intorno. Questa esperienza non lascia luogo di dubitare della verità del supposto; imperocchè essendo li due archi CB BD eguali e similmente posti, l'acquisto di momento fatto per la scesa nell'arco CB è il medesimo che il fatto per la scesa dell'arco DB; ma il momento acquistato in B per l'arco CB è potente a risospingere in su il medesimo mobile per l'arco BD; adunque anco il momento acquistato nella scesa DB è eguale a quello che sospigne l'istesso mobile pel medesimo arco; ma i momenti tutti che fanno risalire per tutti gli archi BD, BG, BJ sono eguali, poichè son fatti dall'istesso medesimo momento acquistato per la scesa CB, come mostra l'esperienza; adunque tutti i momenti che si acquistano per le scese negli archi OB, CB, JB sono eguali „.

L'osservazione fatta sopra il pendolo lo conduce tosto al piano inclinato ed alla legge dell'inerzia. Così egli scrive a pag. 124:

“ È ora accertato che un mobile dal punto di quiete A discendendo per AB acquista velocità corrispondenti all'accrescimento del tempo, e che il grado di velocità esistente in B è il massimo ed è immutabilmente stabilito, purchè sia eliminata la causa di qualsiasi nuova accelerazione o diminuzione di velocità; di accelerazione, se il mobile continua a progredire sull'estensione di un piano, e di diminuzione se esso è avviato su per

il piano BC; ma sulla linea orizzontale GH il moto uniforme, secondo il grado di velocità acquistato da A in B, può propagarsi all'infinito „ (1).

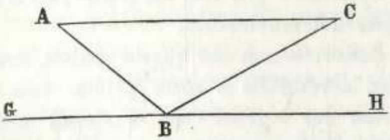


Fig. 32.

Huygens, in ogni parte seguace di Galileo, ha della legge d'inerzia un concetto più perspicuo, ed universalizza il principio dell'altezza dell'ascensione, divenuto così profondo per Galileo. Questo principio egli applica alla soluzione del problema del centro di oscillazione, ed afferma in modo chiarissimo che il principio dell'altezza dell'ascensione è identico a quello della negazione del moto perpetuo.

Citeremo i passi più importanti (*Horologium,* parte II, " Ipotesi „):

" Se la gravità non fosse, e l'aria non opponesse ostacolo al movimento dei corpi, ciascuno di essi una volta ricevuto il movimento continuerebbe a muoversi all'infinito seguendo la linea retta „ (2).

---

(1) " Constat iam, quod mobile ex quiete in A descendens per AB, gradus acquirit velocitatis iuxta temporis incrementum; gradum vero in B esse maximum acquisitorum et suapte natura immutabiliter impressum, sublatis scilicet causis accelerationis novae aut retardationis: retardationis inquam, si adhuc super extenso plano ulterius progrederetur; retardationis vero, dum super planum acclive BC fit reflexio: in horizontali autem GH aequabilis motus iuxta gradum velocitatis ex A in B acquisitae in infinitum extenderetur.

(2) " Si gravitas non esset, neque äer motui corporum officeret, unumquodque eorum acceptum semel motum

(*Horologium*, parte IV, “ Del centro di oscillazione „): “ Se un complesso di corpi, in numero qualsivoglia, entra in movimento, il loro centro comune di gravità non può ascendere più alto del punto in cui si trovava al principio del movimento.

“ Noi dimostreremo che questa ipotesi, benchè possa parere non accettabile a tutta prima, non vuol dire altro se non che i gravi (per sè stessi) non possono muoversi in senso ascendente, del che nessuno ha mai dubitato. E se di questo principio sapessero valersi gli inventori di nuovi congegni, i quali con vani tentativi si provano a produrre il moto perpetuo, facilmente comprenderebbero il loro errore e comprenderebbero che la loro impresa è meccanicamente impossibile „ (1).

Nelle parole “ mechanica ratione „ c'è forse una gesuitica “ reservatio mentalis „. Si potrebbe di qui argomentare che Huygens creda possibile, all'infuori della meccanica, il moto perpetuo.

In modo più chiaro è universalizzato il principio di Galileo nella proposizione IV della stessa parte dell'opera di Huygens:

“ Dato un pendolo composto di parecchi corpi pesanti, il quale posto in movimento ha compiuto una parte qualsivoglia dell'intiera oscillazione, si immagini

---

continuaturum velocitati aequabili, secundum lineam rectam „.

(1) “ Si pondera quot libet, vi gravitatis suae, moveri incipiant, non posse centrum gravitatis ex ipsis compositae altius, quam ubi incipiente motu reperiebatur, ascendere.

“ Ipsa vero hypothesis nostra quominus scrupulum moveat, nihil aliud sibi velle ostendemus... quam quod nemo unquam negavit, gravia nempe sursum non ferri. — Et sane, si hac eadem uti scirent novorum operum machinatores, qui motum perpetuum irrito conatu moliuntur, facile suos ipsi errores deprehenderent, intelligerentque rem eam mechanica ratione haudquaquam possibile esse „.

che i singoli pesi che lo compongono, venuto meno il loro collegamento, rivolgano all'in su le loro velocità e ascendano quanto più possono in alto; il loro comune centro di gravità salirà alla stessa altezza alla quale si trovava al cominciare del movimento „ (1).

Ora su quest'ultimo principio, che non è se non il principio posto da Galileo per una massa singola ed esteso da Huygens ad un sistema di masse, e da lui spiegato come identico al principio della negazione del moto perpetuo, lo stesso autore fonda la sua teoria del centro di oscillazione. Lagrange scrive che questo principio è malsicuro, e gli piace che Giacomo Bernoulli nel 1681 sia riuscito a ricondurre la teoria del centro di oscillazione alle leggi della leva, che gli sembrano più chiare. Intorno a questo problema si affaticarono quasi tutti i maggiori scienziati dei sec. XVII e XVIII, ed in ultimo, associato al principio della velocità virtuale, esso condusse al principio enunciato da D'Alembert (*Traité de dynamique,* 1743), già prima applicato in forma alquanto diversa da Eulero e da Hermann.

Inoltre il principio di Huygens relativo all'altezza dell'ascensione è posto come fondamento del principio della conservazione della forza vivente e di quello della conservazione della forza in generale, nella forma che gli fu data da Giovanni e da Daniele Bernoulli, il quale ultimo specialmente nella sua Idrodinamica ne fa

---

(1) " Si pendulum e pluribus ponderibus compositum, atque e quiete dimissum, partem quamcumque oscillationis integrae confecerit, atque inde porro intelligantur pondera ejus singula, relicto omni vinculo, celeritates acquisitas sursum convertere, ac quousque possunt ascendere, hoc facto centrum gravitatis ex omnibus compositae ad eandem altitudinem reversum erit, quam ante inceptam oscillationem obtinebat „.

molte applicazioni. Questi principii dei Bernoulli soltanto nella forma in cui sono enunciati differiscono da quello che più tardi fu posto da Lagrange.

Il modo col quale il Torricelli giunse alla scoperta del suo celebre teorema del deflusso dei liquidi, ci riconduce di nuovo allo stesso principio. Afferma il Torricelli, che il liquido che scorre dall'orifizio di un recipiente non può per effetto della velocità del suo deflusso ascendere ad altezza maggiore di quella che raggiunge nel recipiente.

Consideriamo ancora un punto che appartiene alla meccanica pura, cioè la storia del principio del movimento virtuale. Questo principio non fu, come si dice comunemente e come afferma anche Lagrange, enunciato primamente da Galileo, ma prima di lui da Stevinus. Questo autore nella parte dell'opera già citata che tratta della *trochleostatica,* così si esprime (pag. 172):

" Si osservi, che qui ha luogo l'assioma statico: Come lo spazio percorso dall'agente sta allo spazio percorso dal paziente, così la potenza del paziente alla potenza dell'agente " (1).

Galileo osserva, come è noto, la validità del principio in quanto si riferisce alle macchine semplici, e deduce da esso anche la legge dell'equilibrio dei liquidi.

Il Torricelli riconduce il principio alle proprietà del centro di gravità. Perchè in una macchina semplice, nella quale la forza ed il peso siano rappresentati da corpi pesanti, esista l'equilibrio, bisogna che il comune centro di gravità dei pesi sovrapposti non si abbassi. Viceversa, se il centro di gravità non può abbassarsi,

---

(1) " Notare autem hic illud staticum axioma etiam locum habere:

« Ut spatium agentis ad spatium patientis
Sic potentia patientis ad potentiam agentis. »

abbiamo l'equilibrio, perchè per sè stessi i corpi gravi non possono muoversi all'in su. Posto in questa forma il principio della velocità virtuale è dunque identico al principio di Huygens della impossibilità del moto perpetuo.

Giovanni Bernoulli riconosce per la prima volta in una lettera diretta nel 1717 a Varignon il valore universale del principio del movimento virtuale per qualsivoglia sistema.

Finalmente Lagrange dà una dimostrazione universale del principio e ne fa il fondamento di tutta la sua meccanica analitica; ma questa dimostrazione in sostanza non si appoggia che sulle osservazioni di Huygens e di Torricelli.

È noto che Lagrange immagina nelle direzioni delle forze operanti nel sistema una specie di sistema di carrucole semplici; intorno a tutte queste carrucole avvolge una funicella, ed appende all'estremità di questa un peso che serve di comune misura a tutte le forze operanti nel sistema. Il numero degli elementi di ciascuna carrucola si può facilmente stabilire in modo che la forza di cui si tratta sia sostituita da esso. Di qui risulta chiaramente che non potendo il peso terminale abbassarsi, esisterà l'equilibrio, perchè i corpi gravi non possono per sè stessi muoversi all'in su.

Se non vogliamo andare tanto innanzi e preferiamo attenerci alle osservazioni del Torricelli, possiamo immaginare che ciascuna forza del sistema sia sostituita da un peso pendente da una funicella che metta capo ad un cilindro collocato nella direzione della forza e sia assicurata al punto iniziale della forza stessa. Si avrà l'equilibrio quando il comune centro di gravità di tutto il sistema di pesi non possa abbassarsi. È evidente che anche questa dimostrazione in sostanza si fonda sulla impossibilità del moto perpetuo.

Lagrange si affaticò a lungo per fornire una dimostrazione indipendente da elementi estranei e rispondente ad ogni esigenza scientifica, senza tuttavia riuscire pienamente nel suo intento. Anche altri dopo di lui tentarono la prova senza miglior fortuna.

Così tutta la meccanica si fonda sopra un principio il quale sembra, se non dubbioso, tuttavia strano ed inferiore per importanza a tutti gli altri principii ed assiomi della meccanica. Tutti coloro che si occupano di meccanica sentono che questa è una condizione incomoda, tutti vorrebbero che essa fosse tolta di mezzo, ma pochi esprimono francamente questo desiderio. Così è una grande soddisfazione per il giovine studioso e volenteroso il leggere ciò che un maestro come Poinsot scrive a proposito della meccanica analitica nella sua " Théorie générale de l'équilibre et du mouvement des systèmes ":

" Tuttavia, siccome in quest'opera da principio non si prese a considerare se non questo bello sviluppo della meccanica, che pareva uscire tutta intiera da una sola formola, così parve naturale il credere che la scienza fosse compiuta, e che non restasse più altro a cercare fuorchè la dimostrazione del principio delle velocità virtuali. Ma questa ricerca rimise in campo tutte le difficoltà che erano state separate mediante il principio stesso. Questa legge così generale, nella quale si mescolano idee vaste e discordanti di movimenti infinitamente piccoli e di perturbazione d'equilibrio, sottoposta ad indagine parve quasi oscurarsi; e siccome nel libro di Lagrange non rimaneva più nulla di chiaro fuorchè il procedimento dei calcoli, così si vide che se le nubi dalle quali era avvolto lo svolgimento della meccanica parevano essere state disperse, in realtà ciò veniva dall'essere state accumulate alle origini stesse di questa scienza.

« In sostanza, una dimostrazione generale del principio delle velocità virtuali doveva ricondurre a stabilire tutta la meccanica sopra un'altra base; poichè la dimostrazione di una legge che si estende a tutta una scienza non può essere altro che la riduzione di questa scienza ed un'altra legge ugualmente generale, ma evidente, od almeno più semplice della prima, la quale di conseguenza è resa inutile da questa „ (1).

Adunque secondo Poinsot dimostrare il principio del movimento virtuale equivale a rinnovare tutta la meccanica.

Un altro inconveniente trova il matematico nella presente condizione storica della meccanica, ossia nel fatto che la dinamica si fonda sulla statica, mentre in

---

(1) " Cependant, comme dans cet ouvrage on ne fut d'abord attentif qu'à considérer ce beau développement de la mécanique, qui semblait sortir toute entière d'une seule et même formule, on crut naturellement que la science était faite, et qu'il ne restait plus qu'à chercher la démonstration du principe des vitesses virtuelles. Mais cette recherche ramena toutes les difficultés qu'on avait franchies par le principe même.

" Cette loi si générale, où se mêlent des idées vagues et étrangères de mouvements infiniment petits et de perturbation d'équilibre, ne fit en quelque sorte que s'obscurcir à l'examen: et le livre de Lagrange n'offrant plus alors rien de clair que la marche des calculs, on vit bien que les nuages n'avaient paru levés sur le cours de la mécanique, que parce qu'ils étaient, pour ainsi dire, rassemblés à l'origine même de cette science.

" Une démonstration générale du principe des vitesses virtuelles devait au fond revenir à établir la mécanique entière sur une autre base; car la démonstration d'une loi qui embrasse toute une science ne peut être autre chose que la réduction de cette science à une autre loi aussi générale, mais évidente, ou du moins plus simple que la première, et qui pourtant la rende inutile „.

una scienza che pretende alla perfezione deduttiva sarebbe almeno desiderabile che i principii della statica, più particolari, si deducessero dai principii della dinamica, che sono più generali.

Questo desiderio è espresso occasionalmente da un altro grande maestro, cioè da Gauss, nel luogo dove enuncia il suo principio del minimo sforzo (*Crelles Journal,* vol. IV, pag. 233), con queste parole: " Benchè sia nell'ordine consueto delle cose, così nel perfezionarsi della scienza come nell'istruzione dell'individuo, il far precedere il più facile al più difficile, il più semplice al più complesso, il particolare all'universale, tuttavia l'intelletto, giunto che sia ad un grado più elevato, preferisce il procedimento inverso, nel quale la statica è considerata come nulla più che un caso speciale della meccanica ". Il principio di Gauss è certamente di indole generale, ma è da deplorare che non sia di intellezione immediata, e che Gauss lo abbia alla sua volta dedotto coll'aiuto del principio di D'Alembert; così facendo la questione rimane nello stato di prima.

Donde proviene questa strana funzione che il principio del movimento virtuale esercita nella meccanica? Risponderò di passata e parzialmente a tale questione. Mi sarebbe difficile descrivere la diversa impressione che mi fece la dimostrazione che Lagrange dà di questo principio quando la conobbi la prima volta da studente e quando vi tornai sopra più tardi, dopo aver fatto qualche studio storico. La prima volta la dimostrazione mi parve poco meno che insulsa, specialmente a cagione di quelle carrucole e cordicelle che considerando la questione sotto l'aspetto matematico non mi andavano affatto; avrei preferito conoscere la loro azione come effetto del principio stesso, anzichè supporla come cosa già nota. Ma quando ebbi studiata la storia, mi parve che non potesse trovarsi una deduzione più elegante.

In realtà in tutta la meccanica troviamo sempre come causa di quasi tutti i fatti il principio della negazione del moto perpetuo, principio che a Lagrange non va a genio, benchè egli stesso nella sua deduzione sia costretto a valersene, almeno in modo larvato. Diamo a questo principio la sua esatta comprensione e posizione, e il paradosso sarà naturale.

Adunque il principio della negazione del moto perpetuo non è certamente una nuova scoperta; da trecento anni esso è la guida dei grandi scienziati. Ma è un principio che a rigore non può fondarsi sopra concetti meccanici, poichè gli uomini erano già persuasi della verità di esso prima che la meccanica esistesse, e tale verità contribuì alla formazione di questa scienza. Adunque la forza e l'evidenza di questo principio debbono avere un fondamento più universale e più profondo. Questo è il punto che riprenderemo in esame.

2. *La fisica meccanica.*

È indiscutibile che da Democrito fino ai nostri giorni è sempre esistita una tendenza a dare una spiegazione meccanica di tutti i fenomeni fisici. Lasciando da parte le più antiche e più oscure manifestazioni di questo concetto, vediamo ciò che scrive Huygens (1):

“ Non si può mettere in dubbio che la luce non consista nel movimento di qualche materia. Poichè se noi guardiamo al suo modo di prodursi, troviamo che sulla terra essa è principalmente generata dalla fiamma e dal fuoco, i quali senza dubbio contengono corpi in rapido movimento, essendochè essi dissolvono e fon-

(1) *Traité de la lumière*, Leida 1690, p. 2.

dono molti altri corpi dei più solidi. Se poi guardiamo agli effetti vediamo che quando la luce è concentrata, come avviene negli specchi concavi, essa ha virtù di bruciare come il fuoco, vale a dire che essa dissolve le parti dei corpi; il che fuor di dubbio è movimento, almeno nella sana filosofia, la quale spiega la causa di tutti gli effetti naturali mediante ragioni di meccanica. Ed a mio avviso non si può fare altrimenti che così, quando non si voglia rinunciare ad ogni speranza di capire qualche cosa nella fisica „ (1).

S. Carnot, introducendo il principio della negazione del moto perpetuo nella teoria del calore, si giustifica con queste parole (2):

" Qui obietterà taluno che il moto perpetuo, dimostrato impossibile come effetto di sole azioni meccaniche, non è forse impossibile come effetto o del calore o dell'elettricità; ma è egli possibile concepire i fenomeni del calore o dell'elettricità come dovuti ad altra causa che non sia un qualsivoglia movimento dei corpi?

---

(1) " L'on ne sçaurait douter que la lumière ne consiste dans le mouvement de certaine matière. Car, soit qu'on regarde sa production, on trouve qu'icy sur la terre c'est principalement le feu et la flamme qui l'engendrent, lesquels contiennent sans doute des corps qui sont dans un mouvement rapide, puisqu'ils dissolvent et fondent plusieurs autres corps des plus solides: soit qu'on regarde ses effets, on voit que quand la lumière est ramassée, comme par des miroirs concaves, elle a la vertu de brûler comme le feu, c'est-à-dire qu'elle désunit les parties des corps; ce qui marque assurément du mouvement, au moins dans la vraye Philosophie, dans laquelle on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mécanique. Ce qu'il faut faire à mon avis, ou bien renoncer à toute espérance de jamais rien comprendre dans la Physique „.

(2) *Sur la puissance motrice du feu.* Paris 1824.

e come tali non soggiaceranno anch'essi alle leggi generali della meccanica? „ (1).

Questi esempi, che si potrebbero moltiplicare all'infinito con citazioni di recenti autori, dimostrano che esiste realmente la tendenza ad una concezione meccanica di estensione universale. E tale tendenza ha la sua ragione. I fenomeni meccanici, non essendo altro che movimenti nello spazio e nel tempo, possono meglio di qualsiasi altro essere osservati e seguìti nel loro svolgimento coll'aiuto dei nostri sensi ottimamente organizzati. La nostra fantasia riproduce quasi senza fatica i procedimenti meccanici. La pressione, come condizione iniziale del movimento, è cosa nota per la quotidiana esperienza. Tutte le modificazioni prodotte dall'individuo nella sfera della sua attività o dall'umanità nel mondo mediante il progresso della tecnica, sono effetto di movimenti.

Qual meraviglia adunque se il movimento appare alla nostra mente come il principale tra i fattori fisici?

In tutti i procedimenti fisici si riesce pure a trovare qualche qualità meccanica. La campana squillando vibra, i corpi riscaldati si dilatano, i corpi elettrici attraggono altri corpi. Perchè dunque non si dovrebbe tentare di considerare tutti i fenomeni sotto l'aspetto per noi più ovvio, e più facilmente suscettibile di osservazione e di misura, ossia sotto l'aspetto meccanico? Ed anche al tentativo di spiegare le qualità meccaniche

(1) " On objectera peut-être ici que le mouvement perpétuel, démontré impossible par les seules actions mécaniques, ne l'est peut-être pas lorsqu'on emploie l'influence soit de la chaleur, soit de l'électricité; mais peut-on concevoir les phénomènes de la chaleur et de l'électricité comme dus à autre chose qu'à des mouvements quelconques des corps, et comme tels ne doivent-ils pas être soumis aux lois générales de la mécanique? „

dei procedimenti fisici per mezzo di analogie meccaniche nulla c'è da obiettare.

In questo senso la fisica moderna è andata molto innanzi. Il concetto fondamentale espresso da Wundt nel molto interessante suo scritto: " Degli assiomi della fisica ", può essere accettato dalla maggior parte dei fisici.

Ecco gli assiomi della fisica quali sono posti da Wundt:

1° In natura tutte le cause sono cause di movimento;

2° Ogni causa di movimento sta fuori dell'oggetto posto in movimento;

3° Tutte le cause di movimento agiscono nel senso della linea retta di congiunzione;

4° L'azione di ogni causa persiste;

5° Ad ogni azione corrisponde una eguale reazione;

6° Ogni azione è equivalente alla causa.

Questi assiomi potrebbero accettarsi come principii fondamentali della meccanica. Ma ponendosi essi come assiomi della fisica, si viene in questo modo alla negazione di tutti i fatti fisici, eccettuato il movimento. Tutti i mutamenti che avvengono in natura non sono che mutamenti di luogo, tutte le cause sono cause di movimento (op. cit., pag. 26). Se noi volessimo ricercare il fondamento logico del concetto di Wundt, la nostra ricerca ci condurrebbe alle speculazioni degli Eleati e degli Herbartiani. Il mutamento di luogo, così pensa Wundt, è il solo mutamento nel quale una cosa conservi la propria identità. Se in una cosa avviene un mutamento qualitativo, dovrebbesi piuttosto pensare che cessa l'esistenza di una cosa e comincia quella di un'altra, il che non è conciliabile coll'idea della identità dell'essere da noi osservato e della indistruttibilità della materia. Ma non è da dimenticare che gli Eleati

trovavano difficoltà affatto simili a queste nella spiegazione del movimento. Non si può anche pensare che una cosa cessa di esistere in un luogo ed un'altra uguale ad essa comincia la sua esistenza in un altro luogo?

Ma in sostanza, quando un corpo abbandona il suo luogo per apparire in un altro, ne sappiamo noi il perchè, meglio di quel che si sappia il perchè un corpo freddo si riscalda? E dato che noi conoscessimo perfettamente i procedimenti meccanici, potremmo e dovremmo per ciò considerare come non esistenti gli altri procedimenti di cui non sappiamo darci ragione? Seguendo questo principio la conclusione più semplice sarebbe la negazione dell'esistenza dell'universo. E questo appunto è la conclusione alla quale giunsero gli Eleati, e gli Herbartiani vi andarono molto da presso.

Considerata in questa maniera la fisica ci presenta uno schema nel quale stentiamo a riconoscere il mondo reale. E veramente accadde che ad uomini i quali furono per alcuni anni dominati da questo concetto, il mondo sensibile dal quale essi avevano prese le mosse nel loro ragionare, come da un fatto perfettamente certo, apparisse d'un tratto come il massimo " enigma dell'universo ".

Benchè non sia affatto difficile comprendere la ragione della tendenza scientifica a spiegare tutti i fenomeni fisici come movimenti degli atomi, bisogna tuttavia riconoscere che questo è un ideale chimerico, il quale è stato spesso adoperato in letture e conferenze popolari come un programma atto a far grande effetto, ma finora nel lavoro positivo degli scienziati non ha avuto una funzione essenziale.

Se vogliamo cercare nel campo della fisica meccanica una vera e feconda conquista, la troveremo o nella spiegazione di fenomeni fisici per mezzo di analogie

meccaniche a noi più famigliari, come nelle teorie della luce e dell'elettricità, o nella esatta determinazione quantitativa della connessione dei fatti meccanici con altri fatti fisici, del che abbiamo un esempio nei lavori intorno alla termodinamica.

3. *Il principio dell'energia nella fisica.*

Soltanto dall'esperienza impariamo che un fatto meccanico determina altre modificazioni fisiche, e viceversa. L'invenzione della macchina a vapore e la sua importanza tecnica rivolsero dapprima l'attenzione degli studiosi alla connessione esistente tra i fatti meccanici (specialmente la produzione di lavoro) e le variazioni di stato nel calore. L'interesse tecnico e l'aspirazione alla chiarezza scientifica si associarono nel cervello di S. Carnot, e diedero principio a quella mirabile evoluzione di cui il risultato è la termodinamica. È un puro caso storico che questa evoluzione intellettuale non abbia avuto il suo punto di partenza nella elettrotecnica.

Carnot, proponendosi di stabilire il massimo di lavoro che in generale una macchina a calore e in particolare una macchina a vapore può produrre, con un determinato consumo di calore di combustione, si fonda sopra analogie meccaniche. Un corpo può produrre lavoro in quanto per effetto del calore si dilata sotto la pressione; ma perchè ciò avvenga esso deve ricevere calore da un altro corpo più caldo. Adunque il calore per produrre un lavoro deve passare da un corpo più caldo ad un corpo più freddo, così come l'acqua per mettere in moto la ruota del molino deve precipitare da un livello più alto ad un livello più basso; le diffe-

renze di temperatura sono dunque forze di lavoro come le differenze di altezza dei corpi gravi.

Carnot concepisce nella mente un procedimento ideale nel quale nessuna quantità di calore si consuma inutilmente, ossia senza produrre qualche lavoro. Questo procedimento con un dato consumo di calore produce il massimo di lavoro. L'analogia meccanica si avrebbe in una ruota da molino che da un livello superiore attinga dell'acqua la quale dentro questa stessa ruota, senza che se ne perda una goccia, scenda ad un livello inferiore. Il procedimento ha questo di particolare che col consumo della stessa forza di lavoro l'acqua può di nuovo essere ricondotta al preciso livello di prima. Questa qualità della possibile inversione c'è anche nel procedimento di Carnot; anche questo col consumo della stessa forza di lavoro si può invertire, riconducendo il calore alla temperatura originaria.

Supponiamo due diversi procedimenti invertibili, A, B, tali che nel procedimento A una calorìa Q passando dalla temperatura più elevata t^1 alla temperatura meno elevata t^2 produca un lavoro W, ed in B nelle medesime condizioni produca un lavoro maggiore $W + W^1$; ciò posto, A nel senso prestabilito e B nel senso inverso potrebbero collegarsi in modo da formare un procedimento solo. In tale caso A riprodurrebbe in senso inverso la variazione di temperatura prodotta da B, e rimarrebbe ancora per così dire un sopravanzo di lavoro W^1 creato dal nulla; tale combinazione costituirebbe un moto perpetuo.

Qui Carnot, sentendo che poco importa che le leggi meccaniche siano violate direttamente o per una via indiretta (mediante variazione di temperatura), e persuaso che nelle leggi naturali vi è una assoluta coerenza, esclude senz'altro e per il primo dal dominio della fisica generale la possibilità del moto perpetuo.

Ma la quantità di lavoro W, la quale si può produrre mediante il passaggio di una calorìa da t_1 a t_2, non dipende menomamente dalla natura della materia nè dal modo secondo cui avviene il procedimento, bensì unicamente dalle temperature t_1 e t_2.

Questo importante principio ebbe la sua piena conferma degli studi speciali dello stesso Carnot (1824), di Clapeyron (1834) e di Guglielmo Thomson (1849). Esso fu stabilito mediante l'esclusione del moto perpetuo, senza alcuna ipotesi intorno alla natura del calore. Carnot mantiene fermo il concetto di Black, secondo il quale tutta la calorìa è invariabile, ma allo stato presente degli studi, la decisione di questo punto è cosa senza importanza. Il principio stesso di Carnot ha già dato notevoli risultati. Guglielmo Thomson (1848) fondò sopra di esso l'idea geniale di una scala assoluta (od universalmente comparabile) delle temperature; Giacomo Thomson (1849) immaginò un procedimento analogo a quello di Carnot, nel quale l'acqua sottoposta a pressione congela e per tal modo produce un lavoro. Egli potè così riconoscere che aumentando la pressione, ad ogni atmosfera che si aggiunge corrisponde un abbassarsi del punto di congelamento equivalente a 0.0075 gradi di Celsio. Questo citiamo a solo titolo di esempio.

Vent'anni dopo la pubblicazione di Carnot avvenne un nuovo progresso per opera di J. R. Mayer e di J. P. Joule. Mayer essendo medico in Giava al servizio olandese ed eseguendo salassi, ebbe occasione di osservare un singolare color rosso del sangue venoso. Seguendo la teoria di Liebig intorno al calore animale, egli attribuì questo fatto alla minor perdita di calore in un clima caldo ed al minor consumo di combustibile organico. Il dispendio totale di calore in un uomo nello stato di quiete doveva corrispondere al totale del

calore di combustione. Ma dovendosi fondare tutte le funzioni organiche, anche le meccaniche, sul calcolo del calore di combustione, ne risultava come conseguenza una relazione tra il lavoro meccanico e il consumo di calore.

Joule si fondò sopra considerazioni affatto analoghe intorno alla batteria galvanica. Il calore di combinazione corrispondente al consumo dello zinco può manifestarsi nella pila galvanica. Quando si produce una corrente, una parte di questo calore passa nel circuito di essa. Nel circuito è inserito un apparecchio per la scomposizione dell'acqua il quale sottrae una parte di questo calore; ma in questa scomposizione si forma del gas detonante, e nella combustione di questo si riproduce il calore perduto. Se la corrente dà il movimento ad un motore elettrico, scompare di nuovo una parte del calore, la quale però si riproduce per effetto della combustione del gas detonante che ne risulta. Dunque, anche secondo Joule sia il prodursi del lavoro che il prodursi del calore si connettono ad un consumo di materia. Perciò sia a Joule che a Mayer sembra ovvio considerare il calore ed il lavoro come due grandezze di ugual natura tra loro connesse per modo che costantemente si produce in una forma quello che nell'altra scompare. Di qui risulta un concetto sostanziale del calore e del lavoro, e come conclusione definitiva un concetto sostanziale dell'energia in generale. Conforme a tale concetto è energia qualsiasi mutamento di stato fisico, la cui cessazione produca lavoro o calore equivalente. La carica elettrica, ad esempio, è una energia.

Mayer (1842) in base alla numerazione fisica allora generalmente usata, calcolò che la distruzione di una caloria equivalente ad un chilogramma produce 365 chilogrammetri di lavoro, e viceversa. Joule al contrario,

mediante una serie di svariate ed ingegnose ricerche cominciate nel 1843, giunse a stabilire più esattamente l'equivalente meccanico di un kgm. di caloria in 425 kgmetri.

Se si valuta ogni mutamento di stato fisico secondo il lavoro meccanico che può essere prodotto dalla sua cessazione, e se a questa misura si dà il nome di energia, avremo per tutti i molteplici mutamenti di stato fisico una sola misura, e potremo dire: la somma di tutte le energie rimane costante. È questa la formula nella quale, per opera di Mayer, di Joule, di Helmholtz e di W. Thomson si può ora enunciare il principio della negazione del moto perpetuo, esteso a tutta la fisica.

Una volta dimostrato che il calore è necessariamente annullato quando per mezzo di esso si compie un lavoro meccanico, il principio di Carnot non poteva più considerarsi come una perfetta espressione del fatto. Il primo a completarlo fu Clausius (1850), al quale succedette Thomson (1851). Ecco la nuova formola: Posto che una quantità di calore Q^1 per mezzo di un procedimento invertibile sia trasformata in calore, un'altra quantità di calore Q scenderà dalla temperatura assoluta T_1 (1) alla temperatura assoluta T_2. In questo caso Q^1 dipende soltanto da Q_1, T_1 e T_2, ma è indipendente dalla materia adoperata e dal modo del procedimento, posto in generale che questo si compia senza perdite. In conseguenza di quest'ultima circostanza basta determinare la relazione tra una sostanza fisicamente ben conosciuta, ad esempio un gas, ed un qualsivoglia procedimento semplice. Questa relazione avrà

(1) Per temperatura assoluta si intende la temperatura di Celsius calcolata a partire da 273 gradi sotto il punto di congelazione.

valore universale. In questo modo si trova:

$$\frac{Q^1}{Q^1 + Q} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \ldots\ldots 1)$$

ossia il quoziente che risulta dal calore Q' convertito in lavoro (calore utilizzabile) diviso per la somma del calore trasformato e del calore trasportato (ossia di tutto il calore consumato), che è quanto dire il cosidetto coefficiente economico, sarà:

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

4. *I concetti intorno al calore.*

Quando un corpo freddo è posto a contatto con un corpo caldo, si osserva che il primo si riscalda e il secondo si raffredda. Questo fatto rende ovvio il concepire il calore come una sostanza che da un corpo passa in un altro. Se due masse d'acqua di ineguale temperatura, m e m', vengono a contatto, si osserva che nel rapido eguagliarsi della temperatura le rispettive variazioni di temperatura u ed u^1 sono inversamente proporzionali alle masse, e di segno opposto; cosicchè la somma algebrica del prodotto è:

$$m u + m' u' = o.$$

È di Black il vocabolo di calorìa per designare i prodotti $m u$, $m' u'$, i quali servono di misura nella valutazione del procedimento. Riesce ovvio il considerare questi prodotti, secondo Black, come misure di quantità materiali. Ma ciò che è essenziale non è questo concetto, bensì l'inalterabilità di quelle somme

di prodotti nel semplice processo direttivo. Se in qualche luogo è annullata una calorìa, in qualche altro luogo se ne produrrà una uguale. Attenendosi a questo concetto si giunge a scoprire il calore specifico. In conclusione Black riconosce che annullata una data calorìa può risultarne qualche altra cosa, ossia la fusione o l'evaporazione di una data quantità di materia. Tuttavia egli, con una certa libertà di ragionamento, si attiene al suo concetto preferito, e considera la calorìa annullata come se ancora esistesse, ma allo stato latente.

Il concetto universalmente diffuso di una sostanza calorifica fu gravemente infirmato dai lavori di Mayer e di Joule. Se la calorìa è suscettibile di aumento e di diminuzione, il calore non può essere una sostanza, ma deve essere un movimento. Questo principio accessorio è divenuto molto più popolare di tutta la rimanente dottrina dell'energia. Tuttavia noi dobbiamo persuaderci che il concetto del calore come movimento è ancora non meno lontano dall'essere un concetto essenziale, di quel che fosse il primitivo concetto del calore come sostanza.

Entrambi i concetti sono stati favoriti od avversati da casuali circostanze storiche. Ammesso che una calorìa abbia il suo equivalente meccanico, non ne consegue necessariamente che il calore non possa essere una sostanza.

Cercherò di spiegarmi più chiaramente mediante una questione che mi fu posta più di una volta da principianti perspicaci. C'è un equivalente meccanico dell'elettricità, come c'è un equivalente meccanico del calore? Sì e no! Non c'è un equivalente meccanico di una quantità di elettricità, come c'è un equivalente meccanico di una quantità di calore, perchè la stessa quantità di elettricità può avere diverso valore di la-

voro, secondo le condizioni nelle quali si manifesta; ma c'è un equivalente meccanico della energia elettrica.

Aggiungiamo un'altra questione. C'è un equivalente meccanico dell'acqua? Un equivalente meccanico di una quantità d'acqua non c'è, ma c'è l'equivalente meccanico del peso dell'acqua moltiplicato per l'altezza della sua caduta.

Quando si carica una bottiglia di Lejda e per tal mezzo si produce un lavoro, noi non pensiamo che la quantità di elettricità nel produrre il proprio lavoro si annulli, bensì che le elettricità non fanno che mutare di situazione, riunendosi insieme uguali quantità di elettricità positiva e di elettricità negativa.

Donde viene ora questa differenza dei nostri concetti rispetto al calore ed all'elettricità? Essa non ha che un fondamento storico, ed è puramente convenzionale, anzi possiamo dire che non ha alcun valore. Mi sia permesso dimostrare con prove la mia affermazione.

Coulomb costruì nel 1785 la sua bilancia di torsione, per mezzo della quale potè valutare la repulsione dei corpi elettrizzati. Supponiamo di avere due pallottole A e B uniformemente elettrizzate; queste ad una data distanza r dei loro centri eserciteranno reciprocamente una data repulsione p. Poniamo ora in contatto con B un corpo C; facciamo che si elettrizzino uniformemente e misuriamo in seguito la repulsione di B rispetto ad A e di C rispetto ad A alla stessa distanza r. La somma di queste repulsioni sarà nuovamente p. Adunque in questa divisione qualche cosa è rimasta inalterata, cioè la repulsione. Ora se si attribuisce questo effetto ad un agente, ad una sostanza, conchiuderemo spontaneamente che essa è stabile.

Riess costruì nel 1838 un termometro elettrico ad aria, il quale dà la misura della quantità di calore prodotto dalla scarica di una bottiglia di Lejda. Questa

quantità di calore non è proporzionale alla quantità di elettricità che secondo il calcolo di Coulomb è contenuta nella bottiglia, ma posto che q sia questa quantità ed s un fattore dipendente dalla superficie, dalla forma e dallo spessore della bottiglia, è proporzionale a $\frac{q^2}{s}$, ossia è proporzionale all'energia della bottiglia caricata. Se ora scarichiamo interamente la bottiglia mediante il termometro, otterremo una certa quantità di calore W. Ma se per mezzo del termometro la scarichiamo in un'altra bottiglia, otterremo una quantità minore di W. Tuttavia possiamo ancora ottenere il residuo, scaricando interamente le due bottiglie mediante il termometro ad aria, e questo residuo sarà di nuovo proporzionale all'energia delle due bottiglie. Adunque nella prima scarica imperfetta è andata perduta una parte della potenzialità d'azione dell'elettricità.

Quando una bottiglia scaricandosi produce calore, la sua energia si altera ed il suo valore secondo il termometro di Riess decresce. Tuttavia la quantità secondo la misura di Coulomb resta inalterata.

Immaginiamo ora che il termometro di Riess sia stato inventato prima della bilancia di torsione di Coulomb; il che non ci parrà difficile, essendo le due invenzioni indipendenti l'una dall'altra. Posta questa ipotesi, non parrà cosa naturale che si sia pensato a valutare la quantità dell'elettricità contenuta in una bottiglia mediante il calore prodotto nel termometro? Ma in tal caso la cosidetta quantità di elettricità risulterebbe diminuita dalla produzione di calore o di lavoro, mentre essa rimane inalterata; per conseguenza l'elettricità non sarebbe una sostanza, ma un movimento, mentre finora essa è una sostanza. Dunque se l'idea che abbiamo dell'elettricità è diversa da quella che ab-

biamo del calore, ciò dipende da un motivo storico, affatto casuale e convenzionale.

Lo stesso dicasi di altri argomenti di fisica. L'acqua non è distrutta quando produce un lavoro. Perchè? Perchè noi valutiamo a peso la quantità dell'acqua, come l'elettricità. Ma poniamo che al valore di lavoro dell'acqua si dia il nome di quantità, e si debba misurarlo non colla bilancia, ma ad esempio colla ruota del molino; in tal caso questa quantità verrà meno a misura che produce lavoro. Ora è facile pensare che vi sono molte sostanze delle quali non possiamo farci un concetto così concreto come dell'acqua. Perciò non potremmo in alcun modo valerci della bilancia per la nostra misura, e vari altri modi di misura ci sarebbero impediti. Ora per ciò che riguarda il calore la misura storicamente stabilita della " quantità „ è per caso il valore di lavoro del calore. Perciò esso è distrutto nel produrre lavoro. Ma di qui non consegue che esso non sia una sostanza, come non ne consegue il contrario.

Se ad alcuno piacesse anche oggi di considerare il calore come una sostanza, glielo potremmo concedere. Egli non avrebbe se non a pensare, che ciò che noi chiamiamo caloria sia l'energia di una sostanza, di cui la quantità rimane immutata, mentre si muta l'energia. E realmente, seguendo l'analogia delle altre denominazioni fisiche dovremmo dire energia di calore piuttosto che quantità di calore.

Se noi dunque ci meravigliamo della scoperta, che il calore è un movimento, ci meravigliamo di una scoperta che non si è ancora fatta. È cosa affatto indifferente, e di nessun valore scientifico, che si pensi essere il calore una sostanza oppure il contrario.

Il calore sotto certi rispetti si comporta come una sostanza, e sotto altri no. Nel vapore esso è latente, come l'ossigeno nell'acqua.

5. *La conformità nel modo di essere delle energie.*

Le precedenti considerazioni acquisteranno maggior chiarezza quando si prenda a studiare la conformità nel modo di essere di tutte le energie, sulla quale da lungo tempo ho richiamato l'attenzione degli studiosi (1). Un peso P collocato ad un'altezza H_1 rappresenta una energia $W_1 = PH_1$. Facciamo che questo peso cada ad una altezza inferiore H_2, producendo un lavoro che si estrinseca in forza viva, calore ecc., ossia in una parola trasformandosi; avremo ancora una energia residua $W_2 = PH_2$. Ne risulterà dunque l'equazione:

$$\frac{W_1}{H_1} = \frac{W_2}{H_2} \quad \ldots\ldots \ 2.$$

Oppure, se vogliamo indicare con $W' = W_1 - W_2$ l'energia trasformata, e con $W = W_2$ l'energia trasportata al livello inferiore, avremo:

$$\frac{W'}{W' + W} = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \quad \ldots\ldots \ 3,$$

ossia una equazione perfettamente analoga ad 1. Adunque la proprietà di cui si tratta non è per nulla particolare del calore. L'equazione 2 dà la relazione tra l'energia tolta dal livello superiore e trasmessa al

(1) A questo argomento ho accennato la prima volta nel mio scritto: *Della conservazione del lavoro,* Praga 1872. Dell'analogia tra l'energia meccanica e l'energia termica si era già occupato Zeuner qualche tempo prima. Più ampiamente ne ho trattato nella " Storia e critica della legge di Carnot intorno al calore " (*Atti dell'Accademia di Vienna*. Dicembre 1892). Cfr. anche gli studi dei moderni " Energetici ".

livello inferiore (residua); essa dice che le energie sono proporzionali alle altezze di livello. Una equazione analoga alla equazione 2 si può stabilire per qualsivoglia forma di energia, e perciò si può anche ritenere come valevole per qualsivoglia forma l'equazione analoga all'equazione 3 relativamente ad 1. Nel caso dell'elettricità, ad esempio, H_1 e H_2 indicheranno i potenziali.

A chi osservi la prima volta la concordanza ora esposta nella legge di trasformazione delle energie, essa appare strana ed inaspettata, perchè non ne vede subito il fondamento. Ma chi segue il metodo storico-comparativo non tarderà a scoprire questo fondamento.

Fin dal tempo di Galileo il lavoro meccanico, benchè sotto altro nome, è sempre stato un concetto fondamentale nella meccanica e di grande importanza nella tecnica. Il reciproco trasformarsi del lavoro in forza viva e viceversa, rende ovvio il concetto dell'energia, che fu per la prima volta compiutamente utilizzato da Huygens, benchè il primo ad adoperare questo vocabolo di energia sia stato Th. Young. Se a ciò aggiungiamo l'inalterabilità del peso (o propriamente della massa) e ci riferiamo alla energia meccanica, è già implicita nella definizione stessa la massima, che l'attitudine a produrre lavoro, ossia l'energia potenziale di un peso è proporzionale all'altezza di livello (in senso geometrico), e che questa energia nell'abbassarsi del livello, ossia nella trasformazione, decresce proporzionalmente all'altezza di livello. Il livello uguale a zero si può in questo caso stabilire ad arbitrio. Di qui risulta l'equazione 2, dalla quale conseguono tutte le altre forme.

Se si pensa al grande incremento di cui la meccanica è debitrice alle altre parti della fisica, non ci meraviglieremo che si sia cercato di adoperare i concetti

meccanici dovunque pareva possibile. Così ad esempio Coulomb derivò dalla meccanica il concetto della massa in relazione alla quantità di elettricità. Nella ulteriore evoluzione delle dottrine elettriche si applicò assai presto il concetto del lavoro alla teoria del potenziale, e si misurò l'altezza del livello elettrico dal lavoro della unità di massa elevata a questo livello. Perciò anche all'energia elettrica è applicabile l'equazione sopra riferita con tutte le sue conseguenze. Lo stesso vale per tutte le altre energie.

Tuttavia l'energia del calore ci offre un caso speciale. Che il calore sia energia, si può arguire anche soltanto dagli originali esperimenti sopra riferiti. Ma la misura di questa energia per mezzo di quella che Black chiama quantità di calore dipende da circostanze accidentali. Innanzi tutto è accidentale la minima variabilità della capacità calorifica c secondo la temperatura, come pure è accidentale la minima discordanza della usuale scala termometrica dalla scala della tensione dei gas; ora il concetto della quantità di calore è determinato da queste circostanze, e da esse dipende pure che una quantità di calore $c\,t$, corrispondente ad una differenza di temperatura t, sia in realtà a un di presso proporzionale all'energia di calore. È un mero accidente storico che Amontons abbia avuto l'idea di misurare la temperatura per mezzo della tensione dei gas; è fuor di dubbio che egli non poteva pensare al lavoro del calore (1). Ma di qui risulta che i numeri di temperatura della tensione dei gas sono proporzionali alla tensione di essi gas, ossia al loro lavoro, date uguali variazioni di volume. E di conseguenza anche

(1) Il primo che consciamente mettesse in rilievo il rapporto tra la temperatura e il livello di lavoro fu W. Thomson (1848-1851).

l'altezza di temperatura e l'altezza del livello di lavoro sono proporzionali tra loro.

Se nel modo di essere del calore si fossero scelte altre caratteristiche molto diverse dalla tensione dei gas, forse la relazione sarebbe parsa molto più complicata, e la corrispondenza tra il calore e le altre energie, osservata sul principio di questo studio, non esisterebbe. È questa una circostanza degna di studio.

Adunque la conformità nel modo di essere delle energie non è una legge naturale, ma piuttosto essa è determinata dalla uniformità dei nostri concetti, ed in parte anche dipende dal caso.

6. *Le differenze delle energie ed i limiti del principio dell'energia.*

Di una qualsivoglia quantità di calore Q, che in un procedimento invertibile (é senza perdite) tra le temperature T_1 e T_2 produca lavoro, soltanto la frazione $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$ è convertita in lavoro; il rimanente si riduce al livello inferiore di temperatura T_2. Questa parte ridotta, mediante il lavoro che si è ottenuto e seguendo il processo inverso, può nuovamente ricondursi al livello T_1. Ma se il procedimento non è invertibile, una quantità di calore maggiore che nel caso precedente scende al livello inferiore, e la maggior somma non può più senza l'impiego di una nuova forza essere ricondotta a T_2. Perciò W. Thomson fece osservare, che in ogni procedimento non invertibile, ossia in ogni vero procedimento calorifico, una certa quantità di calore va perduta per il lavoro meccanico, il che equivale ad una dispersione o distruzione di energia meccanica. C'è sempre una parte di calore che si trasforma

in lavoro, ma c'è spesso una quantità di lavoro che si trasforma totalmente in calore. C'è dunque nel mondo una tendenza alla diminuzione dell'energia meccanica ed all'accrescimento dell'energia calorifica.

Dato un procedimento circolare semplice e chiuso, nel quale si tolga dal livello T_1 la quantità d'acqua Q_1, e si porti al livello T_2 la quantità d'acqua Q_2; avremo, corrispondente all'equazione 2, la relazione:

$$\frac{-Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0.$$

Analogamente Clausius per qualsivoglia procedimento circolare invertibile dà la somma algebrica

$$\Sigma \frac{Q}{T} = 0$$

e quando la temperatura si alteri continuatamente

$$\int \frac{dQ}{T} = 0 \ldots\ldots 4.$$

In questo caso la quantità d'acqua tolta da un livello costituisce l'elemento negativo, e quella che a questo livello è trasferita è l'elemento positivo. Se il procedimento non è invertibile, si estende ad esso l'espressione 4, a cui Clausius dà il nome di *entropia*. In realtà questo caso si verifica sempre, e perciò Clausius non può a meno di dedurne queste affermazioni:

1° L'energia dell'universo rimane costante;

2° L'entropia dell'universo tende ad un massimo.

Avendo riconosciuto la conformità nel modo di essere di diverse energie, deve parere singolare la particolarità ora descritta dell'energia calorifica. Quale sarà la causa di questa particolarità, posto che di ogni energia in generale solo una parte muta di forma,

appunto come avviene dell'energia calorifica? Eccone la spiegazione:

Qualsiasi trasformazione di una specie di energia A si collega ad un caso potenziale di questa medesima specie di energia; questa massima vale anche per il calore. Ma mentre per le altre specie di energia abbiamo anche una connessione tra il caso potenziale e la trasformazione, e perciò nella energia stessa una diminuzione equivalente a quella parte di essa che passa allo stato potenziale, nel calore la cosa è diversa. Nel calore è ammissibile un caso potenziale senza che avvenga una perdita di energia, almeno secondo il concetto comune. Se un peso si abbassa, deve necessariamente produrre energia cinetica, o calore, od altra energia qualsivoglia. Anche nella carica elettrica non è ammissibile un caso potenziale senza perdita di energia, ossia senza trasformazione. Il calore al contrario abbassandosi la temperatura può passare in un corpo di maggior capacità, senza cessare di essere quella energia che era prima, se noi consideriamo ciascuna quantità di calore come una energia. Per questa ragione il calore, oltre al suo carattere di energia, ha in molti casi il carattere di una sostanza materiale, di una massa.

Studiando la questione senza preconcetti, siamo tratti a domandarci se ci sia in generale un senso ed uno scopo scientifico nel continuare a considerare come energia una quantità di calore la quale non si può più trasformare in lavoro meccanico, quale sarebbe ad esempio il calore di un sistema chiuso di corpi aventi una temperatura perfettamente uniforme. È evidente che in questo caso il principio dell'energia è affatto ozioso, e se non è eliminato, ciò avviene per effetto di abitudine. Riconosciuta la dispersione e la distruzione dell'energia meccanica, riconosciuto l'accrescimento del-

l'entropia, il conservare il principio dell'energia è una libertà di ragionamento paragonabile a quella che Black concede a sè stesso considerando il calore di fusione come ancora esistente, ma allo stato latente.

Ci sia ancora permesso di osservare che le espressioni " energia dell'universo „ ed " entropia dell'universo „ sentono alquanto dello scolastico. L'energia e l'entropia sono concetti di misura; che senso possono avere questi vocaboli applicati ad un caso al quale non sono appropriati, perchè il loro valore non è determinabile?

Se si potesse realmente determinare l'entropia dell'universo, essa costituirebbe la vera misura assoluta del tempo. Risulta così evidente che quando diciamo: l'entropia dell'universo cresce col tempo — facciamo una vera tautologia. Il fatto del tempo e il fatto del potere certe variazioni avvenire soltanto in un determinato senso, sono la stessa cosa.

7. *Le fonti del principio dell'energia.*

Siamo ora preparati a rispondere alla questione intorno alle fonti dell'energia. Ogni nostra cognizione intorno alla natura deriva, in ultima analisi, dall'esperienza. In questo senso hanno ragione quelli che anche il principio dell'energia ritengono come un risultato dell'esperienza.

L'esperienza ci insegna che gli elementi sensibili $\alpha\,\beta\,\gamma\,\delta$..... nei quali può essere scomposto l'universo, sono soggetti a variazioni, e che alcuni di questi elementi sono connessi con altri elementi, cosicchè a vicenda si manifestano e scompaiono, ossia che il manifestarsi di elementi di una data specie si collega allo

scomparire di elementi dell'altra specie. Eviteremo qui i vocaboli di causa e di effetto perchè il loro significato è molteplice ed alquanto indeterminato. Il risultato dell'esperienza si può esprimere così: gli elementi sensibili dell'universo (α, β, γ, δ .....) si manifestano in dipendenza l'uno dall'altro. Il miglior modo di concepire questa reciproca dipendenza è il riferirsi colla mente alla dipendenza che nella geometria esiste tra i lati e gli angoli di un triangolo; tuttavia nel caso nostro essa è molto più svariata e complicata.

Prenderemo come esempio una massa di gas, la quale in un cilindro abbia un determinato volume (α); esercitando sopra uno stantuffo una pressione (β) noi alteriamo questo volume; toccando il cilindro colla mano abbiamo una sensazione di calore (γ). L'aumento della pressione produce una diminuzione di volume ed una maggior sensazione di calore.

I molteplici dati dell'esperienza non si rassomigliano perfettamente. Gli elementi sensibili comuni risultano da un processo di astrazione e si imprimono nella nostra memoria. Per questa via noi giungiamo ad esprimere ciò che vi è di comune in intieri gruppi di fatti. Il più semplice giudizio che noi possiamo enunciare, relativamente all'essenza del linguaggio è già una astrazione. Ma si deve tener conto anche delle differenze esistenti tra i fatti che hanno tra loro affinità. Nei fatti può esserci una somiglianza dipendente dall'avere comune la stessa specie di α, β, γ ..., ma essi possono differire perchè negli uni il numero delle parti uguali nelle quali gli elementi α, β, γ ... possono essere divisi non è lo stesso che negli altri. Se a noi è possibile enunciare l'una indipendente dall'altra le regole deduttive dei numeri di misura degli elementi α, β, γ ... avremo l'espressione più universale di un intiero gruppo di fatti, e nello stesso tempo quella che

meglio definisce le differenze esistenti tra loro. È questo lo scopo del calcolo quantitativo.

Conseguito questo scopo, avremo trovato che tra gli elementi α, β, γ... di un gruppo di fatti, e relativamente tra i loro numeri misuratori esistono molte equazioni. Il fatto della variazione è causa che il numero di queste equazioni sia minore che il numero degli α, β, γ.... Se la differenza tra il primo e il secondo numero è uguale ad uno, una parte degli elementi α, β, γ... è equivalente alle altre.

La scoperta delle relazioni di quest'ultima specie è il più importante risultato delle ricerche speciali sperimentali, poichè esse ci pongono in grado di integrare nel nostro pensiero fatti solo parzialmente conosciuti. Si intende però che soltanto per mezzo dell'esperienza possiamo conchiudere che tra α, β, γ... in generale esistono relazioni, e determinare la specie di esse.

Inoltre soltanto l'esperienza può farci conoscere che tra α, β, γ... esistono relazioni tali che quando una variazione avvenga in esse si può riprodurla in senso inverso. Tolta questa condizione ognuno vede che l'affermazione del principio dell'energia sarebbe impossibile. Nell'esperienza adunque dobbiamo cercare la fonte prima di ogni cognizione intorno alla natura, e nel senso accennato dovremo cercare anche la fonte del principio dell'energia.

Ma ciò non esclude che il principio dell'energia abbia anche un fondamento logico, come ora dimostreremo. Supponiamo, fondandoci sull'esperienza, che un gruppo di elementi sensibili α, β, γ... determini univocamente un altro gruppo di λ, μ, ν... Poniamo inoltre che risulti dall'esperienza, essere le variazioni di α, β, γ... suscettibili di inversione. Avremo come logica conseguenza che ogni qual volta ad α, β, γ... si attribuisce eguale valore, questo deve avvenire anche in λ, μ, ν...,

ossia che variazioni puramente periodiche di α, β, γ ... non possono avere come conseguenza variazioni stabili di λ, μ, ν.... Supponiamo che il gruppo λ, μ, ν ... sia un gruppo meccanico, ed avremo la negazione del moto perpetuo.

Si dirà che questa è una petizione di principio, e che questo risulta evidente senza ragionamento. Ma psicologicamente considerate, l'equivalenza e l'invertibilità dei procedimenti e la negazione del moto perpetuo corrispondono a situazioni essenzialmente diverse. Nell'uno e nell'altro caso l'attenzione si volge in direzione diversa, e mette in luce diversi aspetti della cosa, tra i quali c'è tuttavia una connessione di necessità logica.

La salda struttura logica del pensiero dei grandi investigatori (Stevin, Galileo), sorretta coscientemente od istintivamente da un senso squisito delle minime contraddizioni, non fu certamente ordinata ad altro fine che a quello di togliere al pensiero stesso un certo grado di libertà e con questo una possibilità di errore. Questo ci spiega il fondamento logico del principio della negazione del moto perpetuo, ossia quella universale persuasione che esisteva prima che si costruisse l'edificio della meccanica, e che contribuì alla costruzione di esso.

È cosa naturale che il principio della negazione del moto perpetuo si sia svolto primamente nel campo della meccanica pura. Ad estenderlo poi in tutto il dominio delle scienze fisiche contribuì certamente il concetto della possibile riduzione di tutti i fenomeni fisici a procedimenti meccanici. Ma quello che si è detto di sopra dimostra che questo è un concetto tutt'altro che essenziale. Esso si riferisce piuttosto alla cognizione della universale connessione della natura. Affermata questa connessione, si vede (con Carnot) che poco

importa che le leggi meccaniche siano violate direttamente od indirettamente.

Il principio della negazione del moto perpetuo è bensì prossimo al moderno principio dell'energia, ma non è identico ad esso, perchè il secondo non risulta dal primo se non per mezzo di una speciale concezione formale. La negazione del moto perpetuo può risultare dal ragionamento da noi seguìto, senza bisogno di adoperare, anzi nemmeno di conoscere il vocabolo di lavoro. Il moderno principio dell'energia risulta primamente da una concezione sostanziale del lavoro, e di qualsiasi mutamento di stato fisico, il quale, in quanto è suscettibile di inversione, produce lavoro. Il bisogno imperioso di una tale concezione, la quale del resto non è affatto necessaria, ma formalmente assai comoda ed intuitiva, si scorge in I. R. Mayer ed in Joule. Fu già osservato che a questi due scienziati siffatta concezione era resa molto ovvia dall'avere osservato, che sia la produzione di calore come la produzione di lavoro sono connesse con un consumo di materia. Mayer dice: " *ex nihilo nihil fit* „ e in altro luogo: La produzione o la distruzione di una forza (lavoro) è fuori del dominio della potenza umana. In Joule troviamo: " È manifestamente assurdo il supporre che la forza di cui Dio ha dotato la materia possa essere distrutta „. In queste massime si è voluto vedere un tentativo di dare un fondamento metafisico alla dottrina dell'energia. Io non posso vederci altro che il bisogno formale di un calcolo semplice e di evidenza intuitiva; bisogno sorto nel campo pratico, ed esteso ora, bene o male che sia, nel campo scientifico. Ed a conferma di ciò vediamo ciò che scriveva Mayer a Griesinger: " Poichè tu mi domandi come mi sia venuto in mente di occuparmi di tali questioni, ti risponderò semplicemente: Nel mio viaggio marittimo, occupandomi quasi esclu-

sivamente di fisiologia, trovai la nuova dottrina, per il motivo che a me par sufficiente, che io ne sentivo vivamente il bisogno „.

La concezione sostanziale del lavoro (energia) non è per nulla necessaria, anzi aggiungeremo che l'ammettere che di tale concezione si sentisse il bisogno non ci avvicina in alcun modo alla soluzione del problema. Piuttosto è da vedere come Mayer si affatichi per appagare gradatamente questo bisogno. Da principio egli pone come equivalenti del lavoro la quantità di movimento ($m\,v$), e solo più innanzi viene a parlare della forza vivente. Nel campo dell'elettricità egli non è in grado di formulare una espressione equivalente al lavoro; solo più tardi Helmholtz potè formularla. Adunque esistette prima il bisogno formale, e poi la concezione della natura si adattò gradatamente a questo.

Il mettere in chiaro il fondamento sperimentale, logico e formale dell'odierno principio dell'energia dovrebbe contribuire ad eliminare quel non so che di mistico che tuttora è inerente a questo principio. Relativamente al nostro bisogno di formarci un concetto, il più semplice, il più evidente, il più sostanziale che sia possibile, di tutto ciò che avviene intorno a noi, rimane ancora aperta la questione, fino a qual limite la natura corrisponda a questo bisogno, o fino a qual limite noi possiamo appagarlo. Da uno dei nostri ragionamenti appare che il concepire il principio dell'energia come una sostanza, e così pure il concepire, come una sostanza il calore, seguendo l'esempio di Black, hanno un limite naturale nei fatti, e che oltre il limite dei fatti questi concetti non possono essere mantenuti se non mediante un artificio.

IX.

LA NATURA ECONOMICA DELLE INVESTIGAZIONI FISICHE (1).

Quando il pensiero coi suoi mezzi limitati tenta rispecchiare in sè la vita multiforme dell'universo, del quale esso stesso non è che una piccola parte, non potendo mai sperare di penetrarvi fino al fondo, ha tutte le ragioni di far uso moderato delle proprie forze. Di qui lo sforzo della filosofia di tutti i tempi per abbracciare con pochi pensieri organicamente collegati le linee fondamentali della realtà. " La vita non intende la morte, e la morte non intende la vita „ dice un antico filosofo. Tuttavia l'uomo si è continuamente affaticato per restringere i limiti dell'incomprensibile, per ispiegare la morte per mezzo della vita e la vita per mezzo della morte.

Gli antichi popoli civili popolavano la natura di demoni capaci di sensazioni umane. Il concetto animistico della natura, felice e scultoria espressione del naturalista Tylor (2), accomuna il negro feticista del-

(1) Discorso letto nella solenne adunanza della Imper. Accademia delle Scienze in Vienna il 23 maggio 1882.
(2) Tylor, *Gli inizi della civiltà*, Lipsia, Winter, 1873.

l'Africa odierna coi popoli più progrediti dell'antichità. Questo concetto non è mai scomparso del tutto; nè il monoteismo ebraico nè il monoteismo cristiano hanno mai potuto distruggerlo; anzi esso assume proporzioni minacciose e patologiche nelle superstizioni e nelle stregonerie dei sec. XVI e XVII, nel tempo in cui si rinnova lo studio della natura. Mentre Stevin, Keplero e Galileo cautamente elevano pietra a pietra l'edifizio della scienza, i loro contemporanei, coll'animo pieno di spavento e di crudeltà, fanno guerra di roghi e di tormenti ai diavoli che sbucano da ogni parte. Ed anche oggi, fatta astrazione da ogni reliquia di quel tempo e da ogni traccia di feticismo esistente nei nostri concetti fisici (1), siffatte idee sopravvivono, benchè in parte latenti e quasi timorose di manifestarsi, negli inani conati degli odierni spiritisti.

Accanto a questo concetto animistico sorge talora in diverse forme, da Democrito fino a noi, e col medesimo intento di bastar da solo a comprendere tutto l'universo, il concetto che noi, per farci intendere da tutti, diremo fisico-meccanico. Che questo ora abbia la prevalenza, e che determini gli ideali e il carattere del nostro tempo, è cosa da non potersi mettere in dubbio. Fu un immenso e salutare movimento di civiltà quello che nel secolo XVIII diede all'umanità una nuova coscienza di sè. Esso, distruggendo nella vita pratica i resti dell'antica barbarie, additò il luminoso ideale di una esistenza veramente degna dell'uomo; esso creò la *Critica della Ragion pura*, che relegò nel regno delle ombre le larve menzognere dell'antica metafisica; esso, col concetto fisico-meccanico della natura diede il più sicuro strumento al pensiero umano. Come un entusiastico evviva al lavoro scientifico del

(1) Tylor, op. cit.

secolo XVIII suonano a noi le parole, più volte citate, del grande Laplace (1): " Una intelligenza, alla quale per un momento fossero messe innanzi tutte le forze della natura e le loro reciproche posizioni, quando fosse d'altra parte in grado di abbracciare tutti questi dati e di sottoporli all'analisi, potrebbe colla stessa formola determinare il movimento delle più grandi masse e dei minimi atomi; nulla le sarebbe ignoto, e l'avvenire e il presente sarebbero aperti al suo sguardo ". È verosimile che Laplace, così scrivendo, abbia pensato anche agli atomi del cervello. A questo riguardo alcuni dei suoi successori si sono espressi in modo più esplicito, e in generale possiamo dire che al presente l'ideale di Laplace sia comune alla grande maggioranza degli scienzati.

Certamente dobbiamo concedere qualche cosa al sentimento entusiastico suscitato nell'autore della meccanica celeste da quel meraviglioso incremento della scienza al quale anche noi siamo debitori della nostra libertà intellettuale. Ma oggi, con animo sereno e col sussidio di tanto nuovo lavoro, lo studioso delle scienze fisiche deve premunirsi, mediante la cognizione dell'indole della propria scienza, contro ogni illusione, per potere più sicuramente volgere il suo cammino alla meta che si è proposto. E se nel corso del mio ragionamento, al quale invoco la vostra cortese attenzione, io oltrepasserò talvolta i confini del campo a me assegnato per invadere quello dei miei benevoli vicini, sarò certamente scusato, perchè le varie scienze hanno una materia comune, e non ci sono linee divisorie precise ed irremovibili.

---

(1) *Essai philosophique sur les probabilités,* VI ediz., Parigi 1840, pag. 4.

La fede in un arcano e magico potere esistente in natura poco a poco si è dileguata, ma in luogo di essa è sorta e si è propagata una fede nuova, la fede nel potere magico della scienza. E certamente la scienza, non come una capricciosa fata al suo prediletto, ma a tutta l'umanità ha liberalmente dispensato tesori, ai quali i sogni delle fiabe non hanno nulla da paragonare. Niuna meraviglia adunque, se quelli che l'adorano da lungi attribuiscono alla scienza anche il potere di giungere fino al fondo dello sconfinato abisso della natura, nel quale ai nostri sensi non è dato penetrare. Ma la scienza, il cui ufficio è di illuminare il mondo, può tranquillamente scacciare dintorno a sè ogni mistica nebbia, ogni fallace bagliore, poichè di tali mezzi essa non abbisogna per dare ragione dei suoi fini o per adornamento dell'opera propria, che è posta sotto gli occhi di tutti.

I modesti inizî della scienza varranno meglio d'ogni altra cosa a farci conoscere l'essenza di lei, semplice e sempre uguale a sè stessa. Involontariamente e quasi inconsciamente l'uomo acquista le sue prime cognizioni intorno alla natura, istintivamente riproducendo ed immaginando i fatti nella propria mente, ed integrando col pensiero, più agile e più veloce, i dati della lenta esperienza; ma questo egli fa innanzi tutto per il proprio vantaggio materiale. Egli, come l'animale, dal rumore udito nel cespuglio arguisce la presenza del nemico, o per così dire lo costruisce nella sua mente; così dal guscio egli arguisce la polpa del frutto che egli cerca, non altrimenti da quel che facciamo noi, quando dalla linea spettrale argomentiamo la presenza di un corpo o dallo strofinio del vetro la scintilla elettrica. La cognizione della causalità in questa forma scende molto di sotto dal grado assegnato da Schopenhauer al suo cagnolino, nel quale egli ammetteva

questa cognizione. Essa si estende a tutto il regno animale, e ciò dà ragione al potente pensatore, che disse la volontà aver creato l'intelletto per i propri fini. Queste prime funzioni psichiche hanno nell'economia dell'organismo radici non meno salde che il movimento o la digestione. Ma chi vorrà negare che in esse noi sentiamo anche la potenza elementare di un'azione logica e psicologica da lunghissimo tempo esercitata, e trasmessaci in eredità dai nostri antecessori?

Questi primi atti conoscitivi costituiscono anche oggi il più solido substrato di ogni pensiero scientifico. Le nostre cognizioni istintive, per chiamarle brevemente così, appunto perchè noi abbiamo la certezza di non avervi contribuito in alcun modo colla nostra coscienza e colla nostra volontà, si impongono alla nostra mente con una autorità e con una forza logica tale, che l'uguale non si trova mai in cognizioni volontariamente acquisite e derivate da fonti ben note, delle quali sarebbe facile riconoscere la fallibilità. Tutti i cosidetti assiomi sono cognizioni istintive di questo genere. Non soltanto le cognizioni coscientemente acquisite, ma anche, e maggiormente, la forza straordinaria dell'istinto intellettuale, e congiunta a questa la non comune potenza intellettiva, costituiscono il grande scienziato. I più importanti progressi scientifici si fecero quando la scienza riuscì a dare una forma chiaramente intelligibile, e perciò comunicabile, a principii che da lungo tempo erano conosciuti istintivamente, facendone così durevole patrimonio dell' umanità. Il principio posto da Newton; della uguaglianza della pressione e della contropressione, principio di cui ognuno sente la validità, ma che nessuno prima di Newton aveva concepito in modo intelligibile, diede d'un tratto un poderoso incremento alla meccanica. E alla nostra

affermazione potremmo facilmente trovare altre conferme storiche nell' attività scientifica di Stevin, di S. Carnot, di Faraday, di J. R. Mayer e di altri.

Ciò che abbiamo detto riguarda per così dire il suolo nel quale germoglia la scienza. I suoi veri inizî si trovano innanzi tutto nella società, e specialmente nelle arti meccaniche, e sono prodotti dalla necessità di comunicare altrui i risultati dell'esperienza individuale. E solo quando alcuni autori hanno già sentito questa verità, si manifesta imperiosa la necessità di acquistare una chiara coscienza dei dati principali ed essenziali dell'esperienza, per poterli enunciare e trasmettere agli altri. Quello che chiamiamo istruzione altro non è in sostanza che il risparmio che l'uomo fa della propria esperienza giovandosi della altrui.

La più meravigliosa economia di comunicazione si ha nel linguaggio. Volendo trovare qualche cosa da paragonare alla parola, bisogna pensare ai caratteri costituenti un gruppo di lettere, i quali risparmiano la ripetizione degli stessi segni, servendo nello stesso tempo ad usi svariatissimi, oppure ai pochi suoni elementari di cui le parole stesse si compongono. Il linguaggio, e il pensiero intelligibile che è con esso in relazione di reciprocità, fissando ciò che nelle cose è più importante e trascurando ciò che è indifferente, compongono, a mo' di musaico, una immagine stabile della fugace realtà del mondo; talora ciò avviene con discapito della esattezza e della sincerità, ma con risparmio di mezzi e di lavoro. Come il pianista con poche note a ciò predisposte, così colui che parla suscita in colui che ascolta pensieri già una volta preparati e adatti a molti casi, i quali pensieri con grande prontezza e con minima fatica rispondono alla chiamata.

I principii fondamentali che l'insigne economista

L. Herrmann considera come valevoli per l'economia della tecnica, si possono intieramente applicare anche nel campo dei concetti comuni e dei concetti scientifici. È superfluo osservare che nella terminologia scientifica l'economia del linguaggio si è perfezionata. E per quel che riguarda l'economia nell'espressione scritta del pensiero, è molto probabile che la scienza possa un giorno effettuare il bello ed antico sogno dei filosofi, di un sistema internazionale di segni ideografici esprimenti concetti universali. Nè al presente siamo lontani da questo ideale; le cifre arabiche, i segni dell'analisi matematica, i simboli chimici, la notazione musicale, alla quale potrebbe facilmente far riscontro un sistema di segni per indicare i colori, la scrittura fonetica di Brücke, sono inizî di qualche importanza. Tutti questi elementi, logicamente ampliati e collegati con quello che si può imparare da una scrittura ideografica già esistente, quella dei Cinesi, renderanno col tempo superflua la fatica di inventare e di fare accettare una scrittura universale.

L'insegnamento scientifico contiene sempre una descrizione, cioè l'imitazione, fatta dal nostro pensiero, di una esperienza che si vuole sostituire, ossia risparmiare, per mezzo della parola. E per fare ancora un risparmio nell'insegnare e nell'imparare, nasce la descrizione sintetica; tali sono appunto le leggi fisiche. Se noi, ad esempio, consideriamo il valore dell'acceleramento per effetto della gravità e la legge di Galileo sulla caduta dei gravi, abbiamo una norma semplice e compendiosa per comprendere nel nostro pensiero tutti i fenomeni della caduta. Siffatta formula sostituisce perfettamente una estesa tabella, che mediante la formola stessa si può in qualsivoglia momento compilare, senza il minimo sovraccarico della memoria.

Nessuna memoria potrebbe ritenere tutti i diversi

casi della rifrazione. Ma se noi poniamo mente agli esponenti di rifrazione per le due coppie di medie che abbiamo da considerare, e ricordiamo la nota legge del seno, noi possiamo rappresentarci ad integrare col pensiero ogni possibile caso di rifrazione. Il vantaggio consiste nell'alleviamento della memoria, la quele è aiutata dalle costanti conservate per iscritto. Una siffatta legge non può contenere che la nozione sintetica e condensata di un fatto; anzi essa contiene sempre meno che il fatto stesso, perchè essa non ce ne riproduce se non gli aspetti principali, astenendosi dalla enunciazione completa, sia di proposito, sia per necessità di cose. Le leggi naturali si possono paragonare a linee tipografiche, in parte stereotipe e in parte composte di caratteri mobili, e talora le parti stereotipe di esse col progredire dell' esperienza divengono ingombranti.

Quando noi per la prima volta consideriamo un gruppo di fatti esso ci appare multiforme, disuguale, intricato e pieno di contraddizioni. Da principio non possiamo fermare la nostra attenzione se non sopra i fatti singoli, senza metterli in correlazione tra loro. Il campo delle nostre osservazioni rimane oscuro. Ma poco a poco noi troviamo gli elementi semplici e costanti del musaico, che ci permettono di comprendere nel nostro intelletto l'intiero complesso dei fatti. E se anche non progrediamo tanto oltre da poter riconoscere dappertutto, in tanta varietà, i medesimi fatti, tuttavia non ci troviamo più in una regione sconosciuta, e possiamo senza grave sforzo estendere lo sguardo all'intorno; il campo delle nostre osservazioni si è rischiarato.

Permettetemi di spiegarmi con un esempio. Appena il nostro intelletto ha compreso la propagazione della luce in linea retta, esso incontra sul suo consueto cam-

mino un ostacolo nel fatto della rifrazione e della diffrazione. Appena noi crediamo di aver superato l'ostacolo conoscendo un esponente della rifrazione, ci accorgiamo che per ogni colore c'è uno speciale esponente. Appena la nostra mente si è avvezza a comprendere, che luce aggiunta a luce aumenta il chiarore, troviamo d'improvviso un caso nel quale avviene il contrario. Ma in ultimo, nella immensa varietà dei fenomeni luminosi riconosciamo il fatto universale della periodicità della luce in relazione allo spazio ed al tempo, e la sua velocità di propagazione dipendente dalla materia e dal periodo. Questo intento, di acquistare col minimo sforzo una visione generale delle cose e di riprodurre con un processo cogitativo tutti i fatti, può ben dirsi un intento economico.

L'economia del pensiero raggiunge la sua massima perfezione in quella scienza che è pervenuta al più alto grado di sviluppo formale, in quella scienza al cui sussidio così spesso ricorrono anche le scienze fisiche, ossia la matematica. Per quanto strana possa parere l'affermazione, la potenza della matematica si fonda appunto sull'evitare tutti i pensieri non necessari, sul massimo di risparmio nelle operazioni cogitative.

Quando noi moltiplicando un numero di più cifre ricorriamo alla tavola pitagorica per utilizzare i risultati di operazioni aritmetiche già eseguite, invece di ripeterle ogni volta che ne abbiamo bisogno, quando mediante le tavole dei logaritmi risparmiamo operazioni che dovremmo eseguire, sostituendole col risultato di altre operazioni già fatte da lungo tempo, quando ci serviamo delle determinanti in luogo di cominciare sempre, da capo la soluzione di un sistema di equazioni, quando risolviamo nuove espressioni integrali in altre già note, in tutti questi casi noi non vediamo che una debole imitazione della attività intel-

lettuale di un Lagrange o di un Cauchy, la quale, collo sguardo d'aquila di un grande capitano, per ogni operazione da eseguirsi fa entrare in campo numerose schiere di operazioni già fatte. Credo che nessuno mi contraddirà se io affermo, che la matematica sublime come la più elementare sono ordinate economicamente, e costituiscono una esperienza aritmetica pronta sempre ad essere applicata.

Nell'algebra noi eseguiamo una volta per tutte e il più estesamente possibile operazioni aritmetiche di forma uguale, cosicchè non rimane a fare che un piccolo resto di lavoro per ogni caso speciale. L'applicazione dei segni algebrici ed analitici, i quali non sono che simboli delle operazioni da eseguire, deriva dall'osservare, che si può trasferire alla mano una parte del lavoro materiale e sempre ricorrente nella medesima forma, e così alleviare il cervello e risparmiarne le forze per lavori più importanti e più difficili. La costruzione delle macchine da calcolare non è che una conseguenza di questo metodo, e ne definisce il carattere economico.

L'inventore di una di tali macchine, il matematico Babbage, è forse il solo che chiaramente abbia riconosciuto questa relazione, e che vi abbia accennato, sebbene di passata, nel suo libro sulle macchine e sulle fabbriche.

Lo studioso delle matematiche ha forse provato più d'una volta un certo senso di disagio, parendogli che la sua scienza, e starei per dire la penna od il gesso col quale egli scrive, abbiano una avvedutezza maggiore della sua; questo senso di disagio, per propria confessione, non fu ignoto al grande Eulero. E ciò si spiega in certo modo, quando pensiamo quanti sono i pensieri a noi estranei e concepiti da secoli, dei quali pensieri noi ci serviamo ordinariamente nelle

nostre operazioni. Possiamo dire che nella scienza talora sta dinanzi a noi una intelligenza a noi estranea. Ma quando conosciamo il reale contenuto di questo fatto, svanisce tutto ciò che vi è di mistico e di magico in questa impressione, perchè noi sappiamo di potere, pur che lo vogliamo, ripetere *ex integro* l'operazione della mente altrui.

La fisica è l'esperienza ordinata economicamente. Grazie al suo ordinamento non soltanto si può rendersi conto di ciò che si è acquistato, ma anche le lacune e le parti che aspettano di essere completate ci appaiono chiaramente come in una buona amministrazione. La fisica ha comune colla matematica la descrizione sintentica, la definizione stringata e compendiosa dei concetti, tale tuttavia da escludere ogni equivoco, e ciascuno di questi concetti ne contiene molti altri, senza che da ciò risulti un ingombro al nostro cervello. Ma in ogni momento il multiforme contenuto di questi concetti può essere richiamato alla memoria e sviluppato, finchè divenga evidente ai nostri sensi. Per citare un esempio, quanti pensieri ordinati e sempre pronti all'uso della nostra mente non si contengono nel concetto di potenziale! Non c'è dunque da meravigliarsi, se disponendo noi di concetti che contengono tanto lavoro già compiuto, le nostre operazioni sono in definitiva tanto semplificate.

Adunque le prime cognizioni nascono dalla economia conservatrice dell'individuo. Il consorzio umano accumula ed unifica le esperienze di molti individui, ma in realtà molte di queste esperienze non possono essere state fatte più di una volta. Sia il comunicare cogli altri uomini che la necessità sentita dall'individuo, di valersi della somma delle sue esperienze col minimo sforzo, lo costringono all'ordinamento economico. Ma in quest'opera si esaurisce anche tutto il misterioso

potere della scienza. Se guardiamo ai particolari, la scienza non poteva darci alcuna cognizione, che un uomo non potesse trovare da sè solo, anche senza metodo, purchè gli si fosse lasciato del tempo a sufficienza. Ogni problema matematico poteva essere sciolto mediante il calcolo diretto. Ma ci sono operazioni aritmetiche, che oggi si compiono in pochi minuti, mentre ad eseguirle senza metodo non sarebbe forse sufficiente la vita di un uomo.

Un uomo da solo, attendendo unicamente al proprio lavoro, non potrà mai accumulare una ingente ricchezza; il frutto del lavoro di molti uomini, accumulato nelle mani di un solo, è causa efficiente di ricchezza e di potenza; così, essendo limitato il tempo e limitate le forze umane, soltanto la scrupolosa parsimonia del pensiero e l'esperienza economicamente ordinata di migliaia di uomini che si accumula nel cervello di un solo, possono produrre la vera scienza. Adunque tutto ciò che un tempo potè parere stregoneria, e che tale sembra anche oggidì assai spesso nella vita comune, non è altro che l'effetto di un'ottima amministrazione. Ma l'amministrazione o l'economia della scienza ha sopra qualsiasi altra questo vantaggio, che l'accumularsi delle sue ricchezze non reca il minimo danno ad alcuno. In questo consiste la sua benefica gloria, la sua potenza redentrice.

L'avere riconosciuta la natura economica della scienza in generale potrà giovarci a valutare più facilmente certi concetti fisici.

Ciò che noi chiamiamo causa ed effetto non sono altro che le caratteristiche principali di un dato sperimentale, le quali hanno importanza maggiore delle altre nella riproduzione che ne fa il nostro intelletto, Ma la loro importanza si attenua, e si trasferisce ad altre caratteristiche, appena l'esperienza diviene d'uso

comune. Se queste caratteristiche ci sembrano collegate tra loro da un rapporto di necessità, questo dipende unicamente dall'avere noi potuto più volte inserire tra di esse molti termini intermedi da lungo tempo conosciuti, e che perciò hanno per noi maggior valore. Questa abilità pratica nel comporre il musaico del nostro pensiero, la quale ci soccorre in ogni nuovo caso, è definita da Kant come un contenuto innato del nostro intelletto.

I principii capitali della fisica, se noi li scomponiamo nei loro elementi, non differiscono in nulla dai principii descrittivi della storia naturale. La questione del " perchè? ", opportuna ogni qualvolta si tratti di mettere in chiaro una contraddizione, come qualsiasi abito logico, può anche oltrepassare il suo scopo, ed essere posta in casi nei quali non c'è più nulla da comprendere.

Se noi volessimo attribuire alla natura la facoltà di produrre in uguali condizioni uguali risultati, queste circostanze uguali non le sapremmo trovare. La natura non si ripete. Soltanto la nostra imitazione schematica produce casi uguali; adunque soltanto in questa imitazione esiste la reciproca dipendenza di certi caratteri.

Tutti i nostri sforzi per rispecchiare l'universo nel nostro intelletto sarebbero vani, se non ci fosse dato di scoprire nella molteplice variazione qualche cosa di costante. Di qui il nostro sforzo intellettuale per giungere al concetto di sostanza, sforzo che ha una origine non diversa da quella delle moderne idee intorno alla conservazione dell'energia. Di questa tendenza della nostra mente la storia ci presenta numerosi esempi in quasi tutte le divisioni della fisica; ma le più graziose manifestazioni di essa le troviamo nella vita infantile. " Dove va la luce, quando la si spegne e non la vediamo più nella camera? " così domanda il fanciullo.

Lo scoppio improvviso di un palloncino gonfio di idrogeno è per il fanciullo un fenomeno incomprensibile; egli cerca da ogni parte il corpo voluminoso che pocanzi vedeva e palpava. " Donde viene il calore? „ " dove va il calore? „ Siffatte questioni fanciullesche in bocca di uomini maturi definiscono il carattere del nostro secolo.

Se noi mentalmente ci rappresentiamo un corpo indipendente dall'ambiente variabile in cui esso si muove, in realtà non facciamo altro che isolare dalla massa fluttuante delle sensazioni, un gruppo di sensazioni relativamente più costanti, al quale il nostro pensiero aderisce più fortemente. Ma l'inalterabilità di questo gruppo non è assoluta. Ora vien meno un elemento di esso, ora si ripresenta o si modifica, ma non ritorna mai in forma perfettamente uguale. Tuttavia la somma degli elementi costanti rispetto a quella degli elementi variabili, specialmente se guardiamo al modo costante dei passaggi, è sempre così grande da bastarci a riconoscere l'identità del corpo. Siccome noi possiamo considerare ogni singolo elemento come separato dal corpo, senza che questo cessi di essere ciò che era prima, così possiamo facilmente credere che anche quando siano eliminati tutti gli elementi, rimanga ancora qualche cosa all'infuori di essi. Così ci può avvenire di concepire l'idea di una sostanza diversa dai suoi caratteri, di una " cosa per sè stante „, e le sensazioni come simbolo delle proprietà di essa. Al contrario dovremmo dire piuttosto che i corpi o le cose sono simboli intellettuali abbreviati di gruppi di sensazioni, simboli che non hanno esistenza fuori del nostro pensiero. Così il mercante considera il cartellino attaccato sopra una cesta come simbolo della merce che essa contiene, ma non viceversa. Egli darà valore reale al contennto, non al cartellino.

La medesima parsimonia che ci induce a scomporre un gruppo ed a sostituire con simboli speciali gli elementi di esso che si trovano anche in altri gruppi, può anche indurci a determinare tutto il gruppo con un solo simbolo.

Negli antichi monumenti egizi vediamo figure che non corrispondono ad una percezione visiva, ma sono composte di varie percezioni. La testa e il capo delle figure sono rappresentati di profilo, ma la copertura del capo ed il petto si vedono di fronte, ecc. È per così dire una visione intermedia, nella quale l'artista ha voluto fissare quello che per lui era importante, trascurando ciò che gli era indifferente. Questo procedimento artistico, impietrato nelle pareti dei templi egizi, possiamo vederlo in atto nei disegni dei nostri bambini, ed il suo analogo è la formazione delle idee nel nostro cervello. Senza questa visione rapida e sommaria non potremmo enunciare il nostro giudizio intorno ai corpi. Poniamo che si parli di un dado, del quale abbiamo smussato gli spigoli; esso non è più un dado, e se noi lo designiamo tuttavia collo stesso vocabolo, ciò dipende dalla nostra naturale parsimonia, la quale trova più vantaggioso aggiungere una correzione ad un concetto bello e fatto che non formarsene uno affatto nuovo. Tutti i giudizi si fondano sopra questo procedimento mentale.

La pittura degli Egizi e dei nostri bambini non soddisfa l'occhio del critico, il quale ci vede l'informe rappresentazione di un corpo. Il fisico, che vede un corpo piegarsi, dilatarsi, fondersi ed evaporare, lo scompone in piccole parti costanti, il chimico lo analizza nei suoi elementi. Ma di tali elementi ce n'è pure di quelli che non sono inalterabili, ad esempio il sodio. La sua massa molle e di lucentezza argentea, per effetto del riscaldamento passa allo stato liquido; aumentando

il calore ed impedendo l'accesso dell'aria, vediamo diffondersi intorno ad essa nella lampada a sodio un vapore violetto, finchè crescendo ancora il calore tutta la massa arde con luce gialla. Se tuttavia non mutiamo il vocabolo di sodio, questo facciamo sia perchè il mutamento di stato avviene sempre nello stesso modo, sia per necessaria parsimonia. Il vapore può condensarsi, ed ecco di nuovo il bianco metallo. Anzi, dopo che il metallo posto nell'acqua si è convertito in idrossido di sodio, possiamo con opportuno trattamento riprodurre tutte le proprietà di esso che erano interamente scomparse, così come un corpo, che movendosi era per qualche tempo scomparso dietro una colonna, con un altro movimento ritorna visibile. Adunque è senza dubbio molto opportuno per noi avere pronto in ogni momento il vocabolo ed il pensiero per un gruppo di proprietà, dovunque esse si presentino. Ma questo vocabolo e questo- pensiero non sono altro che un simbolo economico e sommario per ciascuno dei fenomeni di cui si tratta. Il vocabolo sarebbe vuoto di senso per quei fenomeni dei quali esso non richiami una serie bene ordinata di impressioni sensibili. Lo stesso può dirsi delle molecole e degli atomi, nei quali si suddivide ancora l'elemento chimico.

In realtà si suole considerare la conservazione del peso o più esattamente la conservazione della massa come la prova diretta della stabilità della materia. Ma tale stabilità, se noi vogliamo andare fino al fondo della questione, si dissolve in una tale quantità di operazioni strumentali ed intellettuali, che per così dire noi non facciamo altro che stabilire una equazione della quale le nostre rappresentazioni, riproducendo i fatti, debbono appagarsi. Ma invano cerchiamo fuori del nostro pensiero l'oscuro sviluppo al quale involontariamente pensiamo.

Adunque è sempre e dappertutto l'imperfetto concetto di sostanza, il quale senza che ce ne accorgiamo si insinua nella scienza, ma sempre si chiarisce insufficiente e deve restringersi ad una parte dell'universo sempre più piccola. Ma l'avere raggiunto una forma più elevata non rende inutile la forma inferiore, sulla quale quella è fondata, così come i più grandiosi mezzi di locomozione non hanno abolito il mezzo più semplice di tutti, il camminare. Adunque i corpi, considerati oome una somma di sensazioni visive e tattili collegate da sensazioni di spazio, al fisico che li voglia comprendere debbono essere così familiari come all'animale la sua preda. Ma chi si inizia alla teoria della conoscenza, al pari del geologo e dell'astronomo, dalle forme che passano dinanzi al suo sguardo deve risalire a quelle che trova già preesistenti.

Tutti i principii e concetti fisici sono indicazioni abbreviate, contenenti spesso altre indicazioni implicite, e riferentisi ad esperienze economicamente ordinate e pronte sempre all'uso della nostra mente. La brevità di certe indicazioni, di cui di rado si richiama alla mente l'intiero contenuto, può dar loro talora l'apparenza di un essenza autonoma. E qui non vogliamo occuparci dei miti poetici, quale è ad esempio quello del tempo che tutto produce e tutto consuma; ricorderemo soltanto che Newton parla ancora di un tempo assoluto, indipendente da tutti i fenomeni, e di uno spazio assoluto; lo stesso Kant non seppe elevarsi sopra questi concetti, che talora anche al presente sono ripetuti seriamente. Per lo scienziato ogni determinazione di tempo non è che l'indicazione abbreviata della dipendenza di un fenomeno da un altro, e nulla più. Quando noi diciamo che l'acceleramento di un corpo liberamente cadente è di 9.810 metri per secondo, questo equivale a dire che la velocità del corpo

verso il centro della terra è di 9.810 metri maggiore quando la terra ha compiuto 1/86400 della sua rivoluzione, il che si può riconoscere nella posizione di essa rispetto agli altri corpi celesti. La velocità alla sua volta non è che una relazione tra la posizione della terra e la posizione dei corpi (1). Noi potremmo riferire i fenomeni, invece che alla terra, ad un orologio o alla nostra sensazione interna del tempo. Ma siccome esiste una connessione tra tutti i fenomeni e ciascuno può servire di misuratore per gli altri, così facilmente nasce l'errore, che il tempo, indipendente da ogni fenomeno, significhi ancora qualche cosa.

Le nostre investigazioni cercano le equazioni esistenti tra gli elementi dei fenomeni. L'equazione dell'ellissi esprime la relazione più generale che si possa immaginare tra le coordinate, dalle quali soltanto i valori reali hanno un senso geometrico. Così anche le equazioni tra gli elementi dei fenomeni esprimono la relazione più generale che matematicamente si possa concepire; ma solo un determinato senso della variazione di certi valori è fisicamente ammissibile. Come nella ellissi ci sono soltanto alcuni valori corrispondenti all'equazione, così anche nell'universo ci sono soltanto alcune variazioni di valore. Il moto dei corpi si accelera sempre verso la terra, le differenze di temperatura, lasciate a sè stesse, si fanno sempre minori, ecc. Anche rispetto allo spazio che è oggetto delle nostre osservazioni è noto che ricerche matematiche e fisiologiche hanno stabilito che esso è tra molti casi pensabili un caso più reale, e che la nozione che abbiamo delle proprietà di esso ci viene unicamente dall'esperienza. Che questo concetto rechi molta luce nel nostro intel-

(1) Di qui risulta evidente che tutte le cosidette leggi elementari contengono sempre una relazione col tutto.

letto, è cosa indiscutibile, per quanto stravaganti siano le applicazioni che se ne vollero fare.

Cerchiamo ora di raccogliere ad unità i risultati delle nostre considerazioni. Nello schematismo economico della scienza sta la forza di essa, ma anche il suo lato debole. Esso ci presenta sempre i fatti sacrificando qualche cosa della loro interezza, con esattezza non maggiore da ciò che è richiesto dal bisogno del momento. Perciò l'incongruenza tra il pensiero e la esperienza persisterà finchè l'uno procederà parallelo all'altra, sarà sempre diminuita ma non mai annullata.

In realtà si tratta sempre ed unicamente di integrare un dato parziale fornitoci dall'esperienza, di dedurre da un elemento di un fenomeno un altro elemento. Le nostre rappresentazioni debbono in questo lavoro fondarsi direttamente sulle sensazioni. Questo è ciò che diciamo misurare. Come l'esistenza stessa della scienza, così anche le sue applicazioni presuppongono una grande stabilità nel nostro ambiente. Quello che essa ci insegna è la reciproca dipendenza; perciò le profezie assolute non hanno alcun significato scientifico. Se avvenissero grandi mutamenti negli spazi celesti il nostro sistema di coordinate relative allo spazio ed al tempo cesserebbe tosto di aver valore.

Quando il geometra vuole concepire la forma di una curva, la scompone innanzi tutto in piccoli elementi rettilinei. Ma egli sa benissimo che questi non sono che un mezzo arbitrario e transitorio per comprendere frammentariamente ciò che non si può comprendere con un solo atto mentale. Così la scienza mancherebbe alla propria dignità se nei mezzi economici e mutevoli da lei stessa creati, cioè nelle molecole e negli atomi, vedesse qualche cosa di reale oltre il fenomeno, e se dimenticando quel metodo prudentissimo che è una recente conquista della sua più audace sorella, la filosofia, creasse una

mitologia meccanica da sostituire alla mitologia animistica o metafisica, e formulasse ipotetici problemi. L'atomo sarà sempre un mezzo per rappresentarci i fenomeni, come le funzioni della matematica. Ma poco a poco, col crescere dell'educazione intellettuale nella propria materia, la scienza, il cui lavoro, al presente ha ancora molta analogia con quello del musaicista, cercherà di conoscere la forma ed i limiti del grande alveo nel quale scorre il vivente fiume dei fenomeni. Essa si propone come scopo alle sue fatiche l'espressione intelligibile dei fatti nel modo più sobrio e più semplice che sia possibile.

Ora ci porremo la questione, se lo stesso metodo che noi abbiamo fin qui considerato come limitato al mondo fisico, sia applicabile anche nel dominio dei fatti psicologici. Al naturalista siffatta questione sembra oziosa. Le scienze fisiche e la psicologia rampollano ugualmente da cognizioni istintive. Negli atti e nelle fisionomie delle persone noi leggiamo il loro pensiero senza saper come. Nello stesso modo che noi ci immaginiamo come si comporterà un ago magnetico in presenza di una corrente elettrica, immaginando in questa il bilancino di Ampère, così per rappresentare nel nostro pensiero gli atti di un uomo supponiamo che le sensazioni, i sentimenti e le volizioni inerenti alla sua persona siano uguali alle nostre. Questa nostra operazione istintiva ci sembrerebbe un accorgimento scientifico dei più squisiti, molto superiore per importanza e per genialità di concetto alla regola del bilancino di Ampère, se ogni fanciullo inconsciamente non facesse lo stesso. Adunque non si tratta se non di concepire scientificamente, ossia intelligibilmente, ciò che per noi è ovvio e naturale. Nè questa è cosa di poco

momento, perchè tra la fisica della fisionomia e dei movimenti da una parte, e la sensazione ed il pensiero dall'altra è da mettere in chiaro una non breve serie di fatti.

" Ma come sarebbe possibile spiegare la sensazione col movimento degli atomi del cervello? " Così udiamo domandare. Certamente questo non sarà mai possibile, come non si può spiegare il potere illuminante e calorifico della luce per mezzo della legge della rifrazione. Ma non dobbiamo dolerci che a tale questione non si possa dare una risposta ragionevole; anzi a dir vero è la questione che non ha ragione di essere. Il fanciullo che dall'alto delle mura si meraviglia di vedere degli uomini nel fosso che le circonda, ignorando che nelle mura ci sono delle porte, non sa spiegarsi come quegli uomini siano potuti discendere nel fosso. Così avviene dei concetti fisici: alle nostre astrazioni nella psicologia non si può salire, ma si può bene discendere.

Guardiamo senza prevenzioni come stanno le cose. Il mondo è fatto di colori, di suoni, di calori, di pressioni, di spazi, di tempi, ecc., ai quali noi per ora non vogliamo dare il nome di sensazioni nè di fenomeni, perchè l'uno e l'altro vocabolo contengono già una teoria unilaterale ed arbitraria. Li diremo senz'altro elementi. Conoscere come procedano questi elementi, sia che a ciò si giunga direttamente o indirettamente, è il vero scopo della scienza. Finchè noi, non occupandoci della nostra persona, attendiamo a studiare la reciproca dipendenza di quei gruppi di elementi dai quali risultano i corpi a noi estranei, compresi tra questi gli altri uomini e gli animali, rimaniamo nel campo delle scienze fisiche. Noi studiamo ad esempio la variazione del color rosso di un corpo dovuta alla variazione della luce. Ma se noi osserviamo l'azione

speciale esercitata sopra questo color rosso dagli elementi costituenti il nostro corpo, entriamo nel campo della psicologia fisiologica. Chiudiamo gli occhi, e nulla più rimane del color rosso nè di tutto il mondo visibile. Così nel campo percettivo di ciascun senso c'è una parte che su tutte le rimanenti influisce in modo diverso da quello di queste sopra di essa, e con maggior forza. Ma detto ciò è tutto detto. Riferendoci a questo fatto, a tutti gli elementi in quanto li consideriamo dipendenti da quella parte (cioè dal nostro corpo), diamo il nome di sensazioni. In questo senso, non c'è dubbio che l'universo altro non è che la nostra sensazione. Ma il fare di questo concetto transitorio un sistema per la vita, e rendersi schiavi di esso, non è affatto necessario, più di quel che sia necessario al matematico quando pone come variabile una serie di variabili di una funzione che prima ha posto come costante, o quando scambia le variabili indipendenti, benchè questo procedimento talora dia luogo a vedute nuove e sorprendenti (1).

Se si considera la cosa in questo modo così schietto, risulta evidente che il metodo della psicologia fisiologica non può essere che il metodo fisico, anzi che questa scienza non è insomma se non una parte della fisica. La materia di essa non è diversa da quella della fisica; essa ci darà la spiegazione esatta delle

(1) Il concetto fondamentale qui esposto è quello che io seguo da vent'anni e che ho affermato in vari scritti (*Conservazione del lavoro*, 1872; *Forme dei liquidi*, 1872; *Sensazioni di movimento*, 1875). Esso è affatto estraneo non ai filosofi, ma alla maggior parte dei fisici. Perciò tanto più mi duole che il titolo e l'autore di un piccolo scritto, concordante persino nei particolari col mio modo di vedere, e da me letto rapidamente, se non erro, in un periodo di affannose occupazioni (1879-1880), mi sia sfuggito dalla memoria così che per quante ricerche abbia fatto non ho potuto ritrovarlo.

relazioni esistenti tra le sensazioni e la fisica del nostro corpo. Già un socio di questa Accademia ci ha fatto sapere che, secondo ogni verosimiglianza alla sestuplice varietà delle sensazioni di colore, corrisponde una sestuplice varietà nel processo chimico della sostanza costituente il senso della vista, così come alla triplice varietà della sensazione di spazio corrisponde la triplice varietà del processo fisiologico. Si rintracciano e si scoprono le vie della riflessione e della volontà; si giunge a sapere quale regione del cervello serva al linguaggio, quale alla locomozione. Rimane ancora il pensiero, che è pur esso inerente al nostro corpo, ma esso non costituisce più una difficoltà il cui principio ci sia sconosciuto. Quando l'esperienza abbia messo in chiaro questi fatti, e la scienza li abbia resi evidenti col suo ordinamento economico, allora non c'è dubbio che sapremo darci ragione anche di essi. Poichè un altro modo di intendere, che non sia il dominio del reale nel pensiero, non c'è mai stato. La scienza non fa nascere un fatto da un altro, ma ordina i fatti conosciuti.

Osserviamo ora alquanto più da presso l'indagine psico-fisiologica. Noi abbiamo un concetto chiarissimo del come un corpo si muova nel suo ambiente. Il nostro campo visuale ci è familiare. Ma assai spesso non sapremmo determinare per quali vie siamo pervenuti ad un dato pensiero, da quale angolo del campo visuale del nostro intelletto esso sia venuto fuori, da qual parte sia partito il primo impulso al movimento del pensiero. La sola osservazione di noi stessi non basta a farci conoscere questo campo visuale dell'intelletto; tale osservazione associata alla ricerca fisiologica, che ha di mira la connessione fisica, può rischiarare al nostro sguardo questo campo visuale, e darci così una visione perfetta del nostro *io*.

La scienza che ha per oggetto la natura, ossia in senso lato la fisica, ci fa conoscere le principali connessioni esistenti tra certi gruppi di elementi. Ma ai singoli elementi di questi gruppi non dobbiamo dare troppa importanza, se noi vogliamo mantenere il concetto chiaro di un tutto. La fisica ci dà, e ciò non è per lei difficile, invece delle equazioni tra le variabili originarie, le equazioni esistenti tra le funzioni di queste. La psicologia fisiologica ci insegna a distinguere nei corpi le proprietà visibili, uditive, tattili, e validamente aiutata dalla fisica, la ricambia generosamente, come si può vedere fin dalla ripartizione della fisica. Il visibile è dalla fisiologia scomposto nelle sensazioni di luce e di spazio; quelle alla loro volta si suddividono secondo i colori, queste nei loro elementi; i rumori si risolvono in suoni, e questi nei loro toni, ecc. Senza dubbio questa analisi può protrarsi molto oltre il limite che oggi ha raggiunto. Sarà possibile perfino mettere in chiaro l'elemento comune sul quale si fondano operazioni logiche molto astratte e tuttavia ben determinate e di ugual forma, quell'elemento che il perspicace giurista ed il matematico sentono con uguale sicurezza, là dove il profano non ode che parole vuote di senso. La fisiologia con una parola ci manifesterà i veri elementi reali del mondo. La psicologia fisiologica sta dunque alla fisica nel senso più lato come la chimica sta alla fisica nel senso più stretto. Molto maggiore del sussidio che oggi si scambiano la fisica e la chimica sarà quello che si scambierà tra le scienze naturali e la psicologia, e le conclusioni che risulteranno da questo commercio scientifico saranno certamente molto più importanti di quelle dell'odierna fisica meccanica.

Con quali concetti noi comprenderemo il mondo, quando sarà aperto al nostro sguardo in tutta la sua

estensione il mondo dei fatti fisici, dei fatti psicologici, del quale noi non vediamo oggi che due frammenti, è cosa che oggi, al principio di tanto lavoro, non si può prevedere. Si troveranno gli uomini di retto giudizio che ardiranno, in luogo di avvolgersi per il tortuoso sentiero delle accidentalità logiche e storiche, aprirsi diretta la via alle altezze dalle quali si abbraccia coll'occhio della mente tutto il fiume dei fatti. Se poi il concetto che noi esprimiamo col vocabolo di materia avrà ancora, oltre all'uso quotidiano, anche un valore scientifico, per ora non si può dire. Ma certamente i nostri posteri si domanderanno con meraviglia come i colori ed i suoni, oggetti prossimi delle nostre sensazioni, si siano d'improvviso dileguati dinanzi a noi nel nostro mondo fisico di atomi, come noi potessimo meravigliarci che ciò che fuori di noi luccica e scoppietta, dentro nel nostro cervello splenda e canti, come noi potessimo domandarci in qual modo la materia senta, che è quanto dire in qual modo un gruppo di sensazioni sia sentito da un simbolo intellettivo.

Noi non possiamo delineare con precisione la scienza dell'avvenire, ma possiamo prevedere che la parete che divide l'uomo dal mondo, a poco a poco si assottiglierà fino a scomparire, e che gli uomini non soltanto rispetto a sè stessi ma anche a tutta la natura organica ed alla così detta natura inorganica proveranno un sentimento meno egoistico e più vivace. Un simile presentimento forse sorgeva duemila anni or sono nell'animo del grande filosofo cinese Licius, quando accennando ad un vecchio osso umano, diceva ai suoi discepoli, nella concisione lapidaria del suo stile: " Questo soltanto ed io sappiamo di non essere nè vivi nè morti ".

X.

TRASFORMAZIONE ED ADATTAMENTO NEL PENSIERO SCIENTIFICO (1).

Quando Galileo, sulla fine del secolo XVI, con mirabile noncuranza delle arti dialettiche e delle sottigliezze sofistiche dominanti nelle dotte scuole del suo tempo, volse il suo limpido sguardo alla natura, perchè questa trasformasse il suo pensiero, liberato dalla schiavitù dei pregiudizi, non si tardò a sentire, e non sol-

(1) L'argomento svolto in questo discorso nella sua sostanza non è nuovo nè arduo. Io stesso fin dal 1867 vi ho accennato più volte, senza tuttavia trattarlo di proposito. Anche altri se ne sono occupati; è una di quelle idee che sono nell'aria che si respira. Ma siccome molte osservazioni particolari, anche esposte nella forma imperfetta di conferenze o di articoli di giornali quotidiani, hanno trovato benevola accoglienza, così mi sono deciso, contrariamente alla mia prima intenzione, a pubblicare questo discorso. Con ciò non intendo invadere il campo della biologia; vorrei che nelle mie parole si vedesse soltanto l'espressione di una verità di fatto, cioè che all'influenza di una idea grande e multilaterale nessuno si può sottrarre.

tanto tra gli studiosi estranei alla scienza di Galileo, ma anche in quelle parti della società che nella scienza non hanno di solito che un interesse negativo, quale straordinaria mutazione si operasse nel pensiero umano.

E la mutazione fu veramente meravigliosa! In parte come conseguenza immediata del pensiero di Galileo, in parte come risultato di quella geniale e schietta osservazione della natura, di cui Galileo fu autore e maestro, tanto da derivare dalle sue considerazioni sopra il cadere di una pietra la legge generale della caduta, vediamo tra il 1600 ed il 1700 esistere già almeno in germe quasi tutta la miglior parte dell'odierno patrimonio della scienza e della tecnica, tutte quelle invenzioni e scoperte che nei due secoli seguenti hanno quasi trasformato l'aspetto della terra, e che ai nostri giorni hanno avuto un così stupendo svolgimento. Galileo, senza l'aiuto di alcuno strumento degno di questo nome, intraprendeva le sue ricerche con mezzi semplicissimi, e misurava il tempo per mezzo del deflusso dell'acqua; noi possediamo ora in piena attività il telescopio, il microscopio, il barometro, la pompa ad aria, le macchine a vapore, l'orologio a pendolo, le macchine elettriche. I principii fondamentali della dinamica, dell'ottica, delle teorie del calore e dell'elettricità, tutti hanno il loro primo svolgimento nel secolo che segue a Galileo.

Se noi dobbiamo credere al nostro sentimento, uguale o poco minore importanza ebbe il movimento scientifico preparato in questi ultimi tempi da insigni biologi, ed iniziato dal grande Darwin, da poco mancato ai vivi. Galileo affinò il senso dell'osservazione applicata alle forme ed ai fenomeni più semplici della natura inorganica. Con accortezza e libertà intellettuale paragonabile a quella di Galileo, senza microscopio e senza esperimenti fisici e chimici, colla sola forza del

pensiero e dell'osservazione, Darwin intuisce una proprietà fino allora ignota della natura organica, che potremmo denominare *plasticità* (1). Con energia uguale a quella di Galileo, con uguale franchezza e sincerità, egli mette in evidenza ciò che vi è di più forte nelle sue argomentazioni, senza tacerne il lato debole, con

(1) A tutta prima parrebbe che l'ammettere nello stesso tempo l'ereditarietà e l'adattabilità sia una contraddizione, e realmente una forte tendenza all'eredità esclude una grande facoltà di adattamento. Ma se immaginiamo l'organismo come una massa plastica, la quale conserva la forma prodotta da cause anteriori finchè nuove cause non vengono a mutarla, questa proprietà che noi diciamo plasticità può conciliarsi tanto coll'eredità quanto coll'adattamento. Nello stesso modo un pezzo di acciaio che abbia una potente forza magnetica coercitiva, conserva il suo magnetismo finchè una nuova forza non viene a mutarlo; così pure una massa in movimento conserva la velocità acquisita nei momenti anteriori, finchè non viene a mutarla una istantanea accelerazione. In questo secondo esempio la variazione sembrava cosa ovvia, e ciò che pareva meraviglioso era la legge della inerzia; nel caso della teoria di Darwin l'eredità parve una verità intuitiva, e invece la variazione parve una novità.

Ma è evidente che concetti chiari ed esatti si possono derivare soltanto dallo studio dei fatti segnalati da Darwin, e non da queste analogie, delle quali quella che riguarda il movimento fu da me intesa la prima volta, se non erro, conversando col mio amico l'ingegnere Popper di Vienna.

Molti scienziati considerano la stabilità della specie come un principio assodato, e la contrappongono alla teoria di Darwin. Ma la stabilità della specie è anch'essa una teoria. Del resto, a quali sconvolgimenti intellettuali vada incontro la teoria di Darwin, si può vedere dagli studi di Wallace, e specialmente dallo scritto di W. H. Rolph (*Problemi biologici*, Lipsia, 1882). Purtroppo questo geniale scienziato non è più tra i vivi.

grande serenità e prudenza evita ogni discussione estranea alla scienza, acquistandosi così la stima dei suoi seguaci e dei suoi avversari.

Non sono ancora passati trent'anni da quando Darwin disegnò le linee principali della sua teoria dell'evoluzione (1), e già vediamo come il suo pensiero si sia propagato in tutti i campi della scienza, anche nei più remoti dai suoi studi. Nelle scienze storiche, nella glottologia, perfino nelle scienze fisiche ricorrono frequente i suoi vocaboli: eredità, adattamento, selezione. Si discorre di una lotta per l'esistenza tra i corpi celesti, di una lotta per l'esistenza tra le molecole (2).

Come da Galileo ebbe origine un potente impulso in ogni direzione del pensiero umano, tanto che, per citare un esempio, il suo discepolo Borelli fondò la scuola esatta della medicina, dalla quale uscirono anche insigni matematici, così pure il pensiero di Darwin iniziò una vita nuova in tutte le scienze. A dir vero la natura non può dividersi in due mondi diversi, l'organico e l'inorganico; essa ha molti aspetti; potremmo paragonarla ad un filo intrecciato in un modo complicatissimo, del quale possiamo scoprire la struttura seguendo ora questo ora quello dei tratti che rimangono allo scoperto; non si deve mai credere, come in un campo limitato hanno fatto i fisici, seguendo l'esempio di Faraday e di J. R. Mayer, che basti progredire sopra una via già aperta per rischiarare tutte le altre.

Se poi dal pensiero di Darwin poco o molto di duraturo e di fecondo abbiano acquistato le singole scienze, è una questione che in avvenire studieranno e risolveranno gli specialisti. A me sia concesso, da questo seggio appartenente alla *universitas literarum*, la quale

(1) Scritto nel 1883.

(2) Cfr. PFAUNDLER, *Pogg. Ann. Jubelband*, pag. 181.

a ragione si gloria di promuovere il libero commercio tra le scienze, di considerare il progresso che la cognizione della natura deve alla luce irradiata della dottrina dell'evoluzione. Poichè la cognizione è una manifestazione della natura organica. E quantunque il modo di essere dei pensieri non possa essere in tutto simile a quello delle forme viventi, e si debba evitare qualsiasi forzata comparazione, tuttavia la legge generale dell'evoluzione e della trasformazione, se Darwin ha veduto giusto, deve aver valore anche per essi.

Voglio qui astenermi dal trattare un tema vasto e complesso, quale è quello dell'eredità dei pensieri, o meglio dell'eredità della tendenza a certe rappresentazioni (1). Nemmeno sarei in grado di svolgere considerazioni intorno alla evoluzione psichica in generale, simili a quelle che più o meno felicemente ebbero ampio svolgimento da Spencer e da altri moderni zoopsicologi (2). Così pure non mi occuperò della lotta per la vita e della selezione naturale, teorie scientifiche già penetrate nel campo della letteratura (3). Noi prenderemo a considerare soltanto certi processi di trasformazione, che ogni studioso può facilmente osservare in sè stesso.

Quando ad un selvaggio, che colla squisitezza dei suoi sensi sa scoprire e distinguere la traccia della sua cacciagione, che sa ingannare coll'astuzia il suo nemico, e che ottimamente si acconcia alla sua maniera di vi-

---

(1) Belle osservazioni sopra questo argomento si trovano in Hering: *Del pensiero come funzione generale della materia organizzata.* (*Almanacco dell'Accademia di Vienna*, 1870). Cfr. Dubois, *Dell'esercizio*, Berlino, 1881.

(2) Spencer, *Principii di psicologia*, Londra, 1872.

(3) Cfr. Mach, *Due conferenze popol. sull'ottica*, Graz, 1867.

vere, capita di vedere un fenomeno naturale straordinario o un prodotto della nostra civiltà industriale, egli si trova sconcertato e sbigottito. Egli non ne capisce niente, e se cerca di capirne qualche cosa, la intende a rovescio. L'ecclissi lunare è opera di un demonio; la sbuffante locomotiva è un mostro vivente; dategli da portare delle vettovaglie accompagnando l'invio con una lettera; se da questa apparirà che egli non abbia saputo resistere alla tentazione della gola, egli crederà che la lettera sia un essere cosciente, e la nasconderà sotto una pietra quando vorrà commettere qualche altra bricconeria. Il calcolo numerico è per lui, come è del resto anche nelle novelle arabe (1), un'arte di punteggiare colla quale si possono scoprire tutti i segreti. Trasportato nel nostro ambiente sociale, egli come l'*Ingenuo* di Voltaire, farà ogni sorta di bizzarrie, tali almeno secondo il nostro modo di vedere.

Altrimenti pensa l'uomo che ha accolto in sè la civiltà moderna. Egli sa che la luna compiendo la sua orbita entra talvolta nell'ombra della terra. Nel suo pensiero egli sente il riscaldarsi dell'acqua nella caldaia della locomotiva, sente il crescere della pressione che spinge lo stantuffo. E dove il suo pensiero non può giungere direttamente, egli pone mano alle misure ed alle tavole dei logaritmi, che aiutano ed alleviano la mente senza dominarla. Conosce le opinioni degli uomini che non la pensano come lui, ed ha argomenti per oppugnarle.

In che consiste ora la differenza tra i due uomini? Nel primo l'andamento del pensiero non corrisponde alle cose che egli vede. Ad ogni passo lo attende una sorpresa. Nel secondo invece il pensiero tiene dietro ai

(1) Cfr. ad es. G. B. Weil, *Le mille ed una notte*. IIª edizione, V, III, pag. 154.

fenomeni, e va incontro ad essi; esso si è adattato alla cerchia più estesa di osservazioni e di operazioni nella quale viviamo, esso vede le cose quali sono. Ma come potrebbe un uomo, di cui i sensi debbono sempre vigilare contro il nemico, e tendere con tutta la loro forza a procacciare il nutrimento, dirizzare il suo sguardo un po' lontano da sè? Questo non diviene possibile se non quando gli uomini a noi consociati si assumono una parte delle cure necessarie alla nostra esistenza. Allora soltanto noi acquistiamo la libertà della osservazione, e pur troppo anche quella unilateralità che ci avvezza a disconoscere la collaborazione della società.

Quando noi ci moviamo in una determinata cerchia di fatti, spesso il rapido adattamento del nostro pensiero è tale che senza volerlo riproduciamo in noi l'ambiente medesimo. Se lasciamo andare la pietra che abbiamo in mano essa cade, non soltanto nella realtà, ma anche nel nostro pensiero; anche nella nostra rappresentazione e nella nostra fantasia il ferro è attratto dal magnete, e appressato al fuoco si arroventa.

La tendenza ad integrare nel nostro pensiero i fatti imperfettamente osservati non deriva, come noi stessi sentiamo, dai singoli fatti, non esiste soltanto, come pure sappiamo, nella nostra volontà, ma ci sembra piuttosto essere una forza estranea, una legge che governa il pensiero ed i fatti.

A spiegare poi il fatto che coll'aiuto di questa legge si possa da noi prevedere il futuro, basta da sola l'uniformità del nostro ambiente proporzionato alla facoltà di adattamento del nostro pensiero. Ma la forza che dirige il nostro pensiero e la possibilità di prevedere il futuro non hanno come necessaria conseguenza l'esattezza della previsione. In realtà ogni volta che facciamo una predizione dobbiamo aspettare che essa si avveri. E i difetti delle nostre previsioni sono sempre

notevoli, e sono minimi solo quando si tratti di fenomeni molto stabili, come è il caso dell'astronomia.

Dove il nostro pensiero segue facilmente il fatto, dove possiamo presentire lo svolgimento di un fenomeno, è naturale che si creda che il fenomeno stesso debba dirigersi secondo il nostro pensiero. Ma la féde in una arcana potenza, detta causalità, la quale mantiene l'armonia tra i pensieri ed i fatti, viene molto infirmata nella mente di colui che per la prima volta si affaccia ad un dominio dell'esperienza a lui sconosciuto, di chi ad esempio osserva la prima volta la singolare azione alternata della corrente elettrica e del magnete, o l'azione alternata delle correnti elettriche, che sembra irridere ad ogni legge meccanica. Egli si sente, per così dire, destituito dal suo ufficio di profeta, e in questo nuovo campo di studio non gli resta che la speranza di poter presto adattare ad esso il suo pensiero. Quando da un osso indoviniamo colla massima sicurezza tutto lo scheletro, nel procedimento dinamico e temporale dei fatti, i quali sono pure della stessa specie, forse a cagione del loro maggior valore pratico, noi vediamo ancora come una aureola metafisica (1).

Consideriamo ora quello che avviene quando si estende la cerchia delle osservazioni alle quali il nostro pen-

(1) So bene che a chi nello studio della natura si proponga di attenersi strettamente ed unicamente alla realtà dei fatti, si potrà rimproverare un eccessivo timore delle " chimere metafisiche ". Tuttavia io non potevo non osservare che tra tutte le chimere, a giudicare del male che hanno fatto, le chimere della metafisica sono le sole che possono dirsi non favolose. Del resto è fuor di dubbio che non poche forme cogitative non sono acquisite primamente dall'individuo, ma preformate od almeno preparate dalla evoluzione della specie, nel senso concepito da Spencer, da Haeckel, da Hering, e da altri, e da me accennato quando ne ho avuto occasione.

siero si è adattato. Noi abbiamo spesso veduto i corpi gravi cadere, quando si tolga loro il sostegno; abbiamo anche veduto come un corpo più pesante possa cadendo spingere in alto un corpo più leggero. Ora d'improvviso ci accorgiamo che un corpo più leggero, come nel caso della leva, può sollevarne un altro di peso molto maggiore. Il nostro consueto modo di pensare ha i suoi diritti, ma li ha pure il nuovo fatto. Da questo conflitto tra il fatto ed il pensiero nasce il problema; questa parziale incongruenza suscita la domanda " perchè? „ Col nuovo adattamento all'ampliata cerchia delle nostre osservazioni, e nel nostro esempio col contrarre l'abitudine di por mente in ogni caso al lavoro meccanico, il problema scompare, ossia è risolto.

Il fanciullo, di cui i sensi appena si svegliano, non conosce problemi. Il vario colore dei fiori, lo squillare della campana, tutto è nuovo per lui, e tuttavia nulla lo stupisce. Anche per il perfetto *filisteo*, il quale non pensa che alle sue consuete occupazioni non esistono problemi. Ogni cosa va per la sua strada, e se qualcuna talora va a rovescio, è al più un caso curioso, non meritevole di attenzione. In realtà, quando i fatti ci sono divenuti familiari sotto tutti gli aspetti, il "perchè?„ non ha più ragione di essere. Ma l'uomo giovine e perfettibile, il quale ha accolto in sè una somma di abiti mentali, e che sempre percepisce fatti nuovi e straordinari, ha la testa piena di problemi, e i suoi " perchè? „ non hanno fine.

Adunque lo scopo a cui tende il pensiero scientifico applicato alla natura è la graduale estensione dell'esperienza. Ciò che è consueto quasi non l'osserviamo; esso acquista valore intellettuale solo quando è in opposizione col nuovo. Ciò che in casa nostra quasi non vediamo, veduto con lievi mutamenti quando viaggiamo ci sembra meraviglioso. Il sole ci sembra più chiaro,

i fiori più freschi, l'aspetto degli uomini più lieto. E ritornati dal viaggio troviamo che anche nel nostro paese c'è qualche cosa di notevole più che altrove.

Dal nuovo, dall'inusitato, dall'incompreso deriva tutta l'attrattiva della trasformazione del pensiero. Il nuovo appare meraviglioso a chi si sente da esso turbato in tutti i suoi pensieri, e si trova per esso in pericolosa incertezza. Ma la meraviglia non è mai nel fatto, bensì nell'osservatore. Il carattere intellettualmente più forte subito tende ad un congruente adattamento dei suoi pensieri, senza tuttavia abbandonarli a sè stessi fuori della via consueta. Così la scienza diviene la nemica naturale del meraviglioso, ed allo stupore presto succede la calma riflessione che spiega il fatto e la spoglia della sua meravigliosa apparenza.

Osserviamo ora un caso di siffatta trasformazione del pensiero nell'individuo. Il cadere dei corpi gravi ci sembra un fatto ordinario che non abbisogna di spiegazione. Ma se si osserva che il legno galleggia sull'acqua, che la fiamma ed il fumo ascendono nell'aria, questi fatti paiono contraddire alla regola. Un'antica dottrina cerca di spiegare la contraddizione attribuendo ai corpi una potenza all'uomo familiarissima, la volontà, e dice che ogni corpo tende al proprio luogo, i corpi gravi al basso, i leggeri all'alto. Ma tosto si osserva che anche il fumo ha un peso, che anch'esso cerca il suo luogo in basso, e che va all'insù, perchè l'aria lo sospinge, così come il legno galleggia sull'acqua.

Osserviamo ora un corpo lanciato in aria: esso ascende in alto. Come avviene che esso non cerca più il suo luogo all'ingiù? Perchè la velocità del suo movimento " forzato „ decresce, mentre aumenta quella della sua " naturale „ caduta? Se noi seguiamo attentamente questi fatti, il problema si risolve da sè. Noi

vediamo con Galileo in entrambi i casi il medesimo aumento di velocità verso la terra. Dunque ai corpi non è assegnato un luogo, ma un'accelerazione verso la terra.

Siffatte idee rendono perfettamente ovvio il moto dei gravi. Stabilito ora il nuovo abito cogitativo, Newton vede la luna ed altri pianeti muoversi come corpi lanciati nello spazio, ma con modi particolari che rendono a lui necessario modificare alquanto il suo abito cogitativo. Ai corpi celesti, o meglio alle loro parti, non è inerente alcuna accelerazione costante l'uno verso l'altro; essi " si attraggono „ in ragione inversa del quadrato delle distanze ed in ragione diretta del quadrato delle masse.

Questo concetto, che implica come caso speciale quello dei gravi terrestri, è ora molto diverso da quello da cui siamo partiti. Quanto angusto era quello, tanto è grande la quantità dei fatti ai quali questo si adatta. Ma tuttavia nell' " attrazione „ c'è ancora qualche cosa del " cercare il proprio luogo „. Ma sarebbe stoltezza il voler evitare ad ogni costo questa " idea dell'attrazione „ che guida la nostra mente per vie tanto note, che è inseparabile dalla concezione di Newton come la radice storica di essa, quasi che tale idea dovesse recare in sè un contrassegno della sua origine. Le idee più geniali non piovono dal cielo, ma piuttosto rampollano dalle idee già esistenti. Così il raggio luminoso si concepisce dapprima come una retta sempre uguale a sè stessa, poi come una traiettoria, poi come un fascio di innumerevoli e svariatissime traiettorie. Si riconosce la sua periodicità, si scoprono vari aspetti di esso, ed in ultimo si elimina da esso la proprietà del movimento rettilineo.

La corrente elettrica è dapprima la corrente di un ipotetico liquido. Presto questa rappresentazione si as-

socia a quella di una corrente chimica, e di un campo elettrico, magnetico e otticamente anisotropo, collegato coll'ambìto della corrente. E quanto più copiosa è la rappresentazione che consegue dai fatti, tanto più essa è adatta a precorrerli.

Siffatti processi di adattamento non si possono osservare nel loro inizio, perchè ogni problema che costituisce un' attrattiva ad un nuovo adattamento, presuppone già uno stabile abito cogitativo. Essi non hanno alcuna fine visibile, perchè anche l'esperienza non ne ha. Così adunque la scienza si trova a metà del processo evolutivo, che essa può dirigere e promuovere, ma non supplire. Una scienza nella quale l'inesperimentato possa costruire senza conoscerlo il mondo dell'esperienza, è inconcepibile. Tanto varrebbe ammettere la possibilità di diventare un gran musico mediante la sola teoria, senza esperienza musicale, o di diventar pittore col solo aiuto di un trattato di pittura.

Se noi ci facciamo a ricostruire lo svolgimento storico di una idea a noi famigliare, non potremo più disconoscere il valore del suo incremento. Le trasformazioni organiche ed essenziali avvenute nel passato, si possono valutare osservando la strana angustia intellettuale che certi grandi scienziati contemporanei manifestano l'uno in confronto dell'altro. La dottrina delle ondulazioni ottiche di Huygens è inintelligibile ad un Newton, ed un Huygens non comprende la concezione newtoniana della gravità universale. E un secolo dopo questi due concetti sono riusciti a stabilirsi anche nella mente dei mediocri.

Le nuove formazioni intellettuali che crescono liberamente nel cervello di certi precursori, i quali al senno dell'uomo maturo accoppiano l'ingenuità del fanciullo, non tollerano l'intervento di alcun pedagogo, e non sono paragonabili all'idea che quasi per effetto ipno-

tico tiene dietro all'ombra proiettata nella nostra coscienza da un vocabolo che ci riesce nuovo.

Appunto le idee che per più antica esperienza sono divenute più ovvie, si affollano quasi lottando per la propria esistenza ogni qual volta si tratta di comprendere un nuovo dato dell'esperienza, e da queste appunto comincia la necessaria trasformazione. Il metodo di spiegare per via di ipotesi i fenomeni nuovi ed ancora inesplicabili è tutto fondato sopra questo procedimento. Quando noi invece di rappresentarci in modo affatto nuovo il movimento dei corpi celesti e il fenomeno della marea, immaginiamo le parti dei corpi celesti gravitanti reciprocamente; quando noi immaginiamo i corpi elettrici saturi di liquidi tra i quali esiste attrazione e repulsione, o lo spazio isolante che intercede fra essi come se fosse in tensione elastica, noi altro non facciamo che supplire, per quanto è possibile, alla mancanza di concetti nuovi mediante altri concetti evidenti ed a noi consueti da lungo tempo, i quali parte continuano per così dire a procedere senza fatica per il loro cammino, parte devono di necessità trasformarsi. Così anche l'animale per ogni nuova funzione che la sua sorte gli assegna, non produce un organo nuovo, ma deve adattare ad esso gli organi esistenti. Al vertebrato che vuole imparare a volare od a nuotare, non cresce un terzo paio di estremità per quest'uso, ma al contrario avviene una modificazione a ciò adatta in un paio di estremità già esistenti.

L'ipotesi non è dunque il prodotto di un metodo scientifico artificiale, ma piuttosto si forma da sè affatto inconsciamente fin dall'infanzia della scienza. Le ipotesi possono più tardi diventar nocive e pericolose al progresso della scienza, finchè trovano maggior credito che i fatti stessi, e si crede il loro contenuto più reale di questi, e finchè posta come ferma ed infles-

sibile l'ipotesi, si esagera il valore dell'idea acquistata rispetto all'idea ancora da acquisire.

L'ampliarsi della nostra visione intellettuale, sia che realmente la natura muti per noi il suo aspetto ed offra al nostro sguardo nuovi fatti, o dipenda ciò da un volontario o involontario cambiamento di direzione nella nostra visuale, promuove la trasformazione delle idee. In realtà gli svariati metodi di ricerca scientifica enumerati da Stuart Mill, ossia il metodo dell'adattamento volontario delle idee, quello dell'osservazione e quello dell'esperimento, si possono considerare come forme diverse di un unico metodo fondamentale, quello della variazione. Infatti lo scienziato impara per mezzo della variazione delle circostanze. Ma questo metodo non è proprio esclusivamente delle scienze che hanno per oggetto la natura. Anche lo storico, il filosofo, il giurista, il matematico, il cultore dell'estetica (1), l'artista, spiegano a sè stessi e sviluppano le proprie idee, traendo dall'ampio tesoro della memoria casi analoghi e pur diversi, e facendone oggetto di osservazione e di esperimento nel proprio pensiero. Anche se ogni esperienza sensibile dovesse improvvisamente cessare, le reliquie del passato si incontrerebbero, variando di posizione, nella nostra coscienza, e non cesserebbe mai quel procedimento antagonistico all'adattamento delle idee ai fatti e come tale appartenente alla pura teoria, ossia il reciproco adattamento delle idee.

Il metodo della variazione ci mette innanzi casi analoghi di fatti, nei quali si contiene un certo numero di elementi comuni, e un certo numero di elementi diversi. Solo mediante la comparazione di vari casi di rifrazione della luce con diversi angoli di incidenza

(1) Cfr. ad es. Schiller, *Osservazioni sparse sopra vari argomenti di estetica.*

si può venire a conoscere l'elemento comune, ossia la stabilità dell'esponente di rifrazione, e solo comparando la rifrazione dei diversi colori la nostra attenzione può rivolgersi all'elemento che ne costituisce la differenza, cioè la disuguaglianza degli esponenti di rifrazione. La comparazione determinata dalla variazione guida la nostra attenzione sia alle più alte astrazioni che alle più sottili distinzioni.

Non c'è dubbio che anche l'animale può riconoscere ciò che vi è di comune e ciò che vi è di particolare in due diversi casi. Un rumore eccita la sua coscienza, ed i suoi centri motori si preparano all'azione. La vista del vivente che ha prodotto il rumore, secondo la grandezza di esso, può determinare l'animale alla fuga od all'inseguimento, e le minori differenze specifiche in questo secondo caso determineranno il modo dell'assalto. Ma soltanto l'uomo raggiunge l'attitudine alla comparazione volontaria e cosciente, così da potere mediante l'astrazione assorgere da una parte fino al principio della conservazione della massa e della conservazione dell'energia, e dall'altra osservare subito dopo l'aggrupparsi delle linee spettroscopiche del ferro. Trattando egli in questa maniera gli oggetti della sua vita rappresentativa, i suoi concetti crescono in modo corrispondente al sistema nervoso, e vengono a formare, per così dire, un albero ampiamente ramificato e organicamente costituito, nel quale l'uomo può seguire ciascun ramo fino nelle sue più minute suddivisioni, e da ciascuna di queste può quando lo voglia ritornare al tronco.

Lo scienziato inglese Whewell afferma che allo svolgimento delle scienze naturali dovettero concorrere due fattori: le idee e le osservazioni. Le idee da sole vaniscono nella speculazione, le osservazioni da sole non dànno un sapere bene organato. E realmente vediamo

come questa affermazione sia applicabile alla facoltà di adattare a nuove osservazioni le idee preesistenti. Una eccessiva adattabilità ad ogni nuovo fatto impedisce il formarsi di qualsiasi stabile abito cogitativo; ma gli abiti cogitativi troppo rigidi sono di ostacolo alla libera osservazione. La nostra visione intellettuale si allarga nella lotta, e per così dire nel compromesso tra il giudizio ed il pregiudizio.

Un giudizio a noi consueto e applicato senza cautela di prova ad un fatto nuovo, è ciò che noi diciamo pregiudizio. E chi non ne conosce la formidabile potenza! Ma di rado pensiamo all'utilità ed all'importanza che il pregiudizio può avere. Come fisiologicamente nessun uomo potrebbe esistere se dovesse per mezzo di azioni volontarie e meditate promuovere e conservare nel proprio corpo la circolazione del sangue, la respirazione e la digestione, così pure nessun uomo avrebbe un esistenza intellettuale se fosse sempre costretto a formulare il suo giudizio sopra tutto ciò che gli accade, invece di lasciarsi guidare, come spesso avviene, dal proprio pregiudizio. Il pregiudizio è una specie di movimento riflesso nel dominio dell'intelligenza.

Sopra pregiudizi, vale a dire sopra giudizi consuetudinari di cui non si è in ogni singolo caso esperimentata l'applicabilità, si fonda una buona parte degli espedienti e delle considerazioni dello scienziato, sopra pregiudizi si fonda la maggior parte degli atti della società umana. Se d'improvviso scomparissero tutti i pregiudizi, la società stessa si dissolverebbe. Una profonda conoscenza della potenza dell'abitudine intellettuale mostrò di avere quel principe, il quale alla sua guardia del corpo, tumultuante per le paghe arretrate, comandò di ritirarsi colla consueta parola d'ordine, ben sapendo che a questa non avrebbero osato resistere.

Soltanto quando la divergenza tra il giudizio consueto ed il fatto si fa eccessiva, lo scienziato soggiace ad una illusione sensibile. Nella vita pratica dell'individuo e della società avvengono allora quei tragici scioglimenti e quelle catastrofi nelle quali l'uomo, anteponendo la propria abitudine alla vita invece di far servire quella a questa, diviene vittima del proprio errore. La medesima potenza che promuove, alimenta e conserva la nostra attività intellettuale, in circostanze mutate ci inganna e ci annienta.

Le idee non sono tutta la vita; esse sono come una splendida e fugace fioritura che illumina la via della volontà. Ma esse sono pure il più efficace reagente che operi nella nostra evoluzione organica. E la trasformazione che sentiamo avvenire in noi come effetto di esse, non può essere contestata da nessuna teoria, nè è necessario che essa ci sia dimostrata, perchè ne abbiamo la certezza diretta.

Così la trasformazione intellettuale da noi considerata ci appare come una parte della universale evoluzione della vita, dell'adattamento ad un campo di operazioni sempre più vaste. Un frammento di roccia preme sulla terra; passeranno millenni prima che il suolo sottostante ceda alla pressione. Un cespuglio che nasce al piede del masso, si dirige già secondo l'estate e l'inverno. La volpe che sale per l'erta contrastando alla legge di gravità, fiutando la sua preda, opera già più liberamente che il masso ed il cespuglio. Le nostre facoltà sono molto più estese, e non avviene fatto di qualche importanza in Asia o in Africa, di cui noi non abbiamo sentore. Quanta parte della vita di altri uomini, delle loro gioie e dei loro dolori, della loro fortuna e delle loro sventure sopravvive in noi, anche se non facciamo che guardarci intorno, anche se ci restrin-

giamo alle letture moderne! Quanto più intensa è la nostra vita, quando con Erodoto viaggiamo per l'antico Egitto, o ci aggiriamo per le vie di Pompei, o riviviamo negli oscuri tempi delle crociate e dei pellegrinaggi di fanciulli, o nella gloria luminosa dell'arte italiana, o facciamo conoscenza dei personaggi di Molière e conversiamo con D'Alembert e Diderot! Quanta parte di vita a noi estranea, di ispirazione, di volontà, ci viene dalla musica e dalla poesia! Ed anche quando tutto ciò sfiori appena le corde delle nostre passioni, come talora il vecchio sente aleggiarsi intorno le immagini della sua giovinezza, tuttavia noi abbiamo pur vissuto una parte di questa vita. Quanto si eleva e si estende il nostro io, e come si impiccolisce la personalità! Gli egoistici sistemi dell'ottimismo e del pessimismo, coi meschini criteri a loro congeniti, si dissolvono. Noi sentiamo che le vere perle della vita sono nel variabile contenuto della coscienza, e che la nostra personalità non è che il filo simbolico e per sè insignificante dal quale esse sono unite in collana (1).

Così a noi piace considerare noi stessi ed i nostri concetti come un risultato e come un oggetto dell'evoluzione universale; questa darà a noi maggior forza

(1) Crediamo di essere nel vero affermando che la felicità altrui costituisce una parte importante ed essenziale della nostra. Essa è un capitale comune, che non è prodotto dall'individuo e che non muore con lui. La limitazione schematica dell'*io,* che è necessaria ed opportuna soltanto per fini pratici e meno elevati, qui non può più sussistere. Tutta l'umanità è come un polipaio. Sono bensì scomparsi i materiali collegamenti organici degli individui, che avrebbero impedita la libertà del movimento e dell'evoluzione, ma il fine di essi, ossia la comunione psichica fu raggiunta molto meglio mediante il maggiore perfezionamento reso possibile da tale disgregazione.

e maggior libertà di movimento per progredire sulla via che ci aprirà l'avvenire (1).

---

(1) C. E. von BAER, divenuto poi avversario di Darwin e di Haeckels, in due mirabili discorsi (*La legge più universale della natura in ogni evoluzione* e *Quale è il vero concetto della natura, e come è applicabile alla entomologia?*) ha dimostrato quanto sia angusto il concetto che ci rappresenta l'animale nella sua esistenza presente come un essere per sè stante e in sè stesso compiuto, invece di considerarlo come una fase nella serie evolutiva a cui appartiene, e la specie alla sua volta come una fase della evoluzione del mondo animale.

XI.

DEL PRINCIPIO DI COMPARAZIONE NELLA FISICA

Quando Kirchhoff, or son vent'anni, definì l'oggetto della meccanica con queste parole: " descrivere perfettamente e colla massima semplicità i movimenti che avvengono spontaneamente in natura „ la sua sentenza produsse un effetto singolare. Quattordici anni più tardi Boltzmann, nel vivace ritratto che ci ha lasciato del grande scienziato, ci parla ancora della universale meraviglia (1) suscitata da questo nuovo me-

(1) A questa generale meraviglia io non potevo partecipare perchè fino dal 1872 nel mio scritto " *Della conservazione del lavoro* „, avevo affermato l'opinione che l'oggetto delle scienze fisiche e naturali è l'espressione economica della realtà. Ma anche la mia affermazione non era affatto nuova; poichè, anche lasciando da parte Galileo che la mise in pratica, e Newton che disse " hypotheses non fingo „, J. R. Mayer dice espressamente: " Quando un fatto è conosciuto sotto tutti i suoi aspetti, esso è spiegato, e con ciò l'ufficio della scienza è compiuto „ (1850). E fino dal secolo scorso, in un campo affine al nostro, Adamo Smith, coi suoi pensieri sopra la scienza, fece molto progredire questa idea, come recentemente osservò Mc. Cornack (*Un episodio della storia della filosofia*, " The Open Court „, 1895, n° 397).

todo di trattar la meccanica, e non mancano al giorno d'oggi trattati di critica gnoseologica nei quali si scorge quanto sia difficile adattarsi a questo modo di vedere. Vi fu tuttavia una modesta e non numerosa schiera di scienziati, i quali accolsero il detto di Kirchhoff come l'annunzio di un benvenuto e potente alleato nel campo della critica gnoseologica.

Ora, qual sarà mai la cagione per la quale gli uomini provano tanta ripugnanza ad acconsentire al pensiero filosofico di uno scienziato, mentre le conquiste che egli fa nel campo delle scienze fisiche e naturali sono da tutti salutate con lieta meraviglia? Forse una causa può trovarsi nel fatto che lo scienziato, occupato com'è senza posa a conquistar nuovi veri nel dominio della sua scienza, di rado ha tempo ed opportunità di investigare e spiegare il meraviglioso procedimento psichico dal quale la scienza trae il suo incremento. Ma era pure inevitabile che la concisa sentenza di Kirchhoff da alcuni si volesse estendere a significati che essa non ha, e che da altri vi si fraintendesse ciò che finora fu ritenuto carattere essenziale della cognizione scientifica. A che approda una pura e semplice descrizione? Dov'è la spiegazione, dove è la visione del nesso causale?

Consentite che per un momento io consideri schiettamente e senza prevenzioni, non i risultati della scienza, ma il modo del suo incremento. Noi non conosciamo altra fonte di rivelazione immediata dei fatti fisici fuorchè i nostri sensi. Ma ciò è ben poco; se l'uomo fosse ridotto alla sola esperienza dei sensi, e ciascuno dovesse per suo conto cominciare da capo la propria esperienza, a quale cognizione si arriverebbe? Appena possiamo averne un'idea, a dir vero poco lusinghiera

per il nostro orgoglio, prendendo ad esempio le cognizioni scientifiche di un villaggio di Negri nella parte più interna dell'Africa; idea tuttavia insufficiente, perchè anche tra queste genti quella vera meraviglia che è la trasmissione del pensiero, al cui paragone sono cose ridicole i miracoli degli spiritisti, è già al suo inizio, ossia alla comunicazione orale. Ed aggiungiamo che noi, mediante i segni magici a noi noti e conservati nelle nostre biblioteche, possiamo consultare i nostri grandi morti, da Faraday a Galileo e ad Archimede, i quali non ci rispondono con ambigui e derisori oracoli, ma ci rivelano il meglio del nostro sapere; se pensiamo a questo, sentiamo quale meraviglioso e necessario fattore sia nella formazione della scienza la comunicazione. Non le congetture quasi inconscie che il perspicace osservatore della natura o degli uomini nasconde nel suo intimo, ma le cognizioni che egli possiede in modo abbastanza chiaro da poterle comunicare altrui, costituiscono la scienza.

Ma come facciamo noi a comunicare altrui un recente acquisto della nostra esperienza, un fatto novamente osservato? Come negli animali socievoli le varie voci colle quali si chiamano, si avvertono del pericolo, o assaltano il nemico, sono un segnale formato inconsciamente per indicare una osservazione od azione comune, indipendente dalle varie cause che possono produrlo, ma che tuttavia contengono il germe del concetto, così anche le parole nel linguaggio umano, che da quello degli animali inferiori differisce soltanto per essere molto più specializzato, non sono che simboli di fatti universalmente conosciuti, che possono essere o che sono stati universalmente osservati. Adunque, se la rappresentazione mentale segue dapprima passivamente il nuovo fatto, essa però dovrà tosto costituirsi nel pensiero appoggiandosi od associandosi a fatti

universalmente noti ed osservati. La memoria è sempre pronta a fornire come termini di paragone certi fatti noti che sono analoghi al fatto nuovo, ossia che hanno comuni con esso certi particolari, e così rende possibile l'interno giudizio elementare, al quale tosto segue il giudizio espresso con parole.

La comparazione, condizione fondamentale della comunicazione, è l'anima della scienza. Il zoologo riconosce che le ossa delle ali del pipistrello sono dita, confronta le ossa del cranio colle vertebre, compara gli uni cogli altri gli embrioni di organismi diversi, e i vari stadi di sviluppo del medesimo organismo. Il geografo vede nel lago di Garda un *fjord*, nel lago di Aral un lago in via di prosciugarsi. Il glottologo paragona tra loro le diverse lingue, e i vari elementi onde risulta una lingua. E se non si usa il termine di fisica comparata, come quello di anatomia comparata, ciò non dipende se non dalla natura più attiva e più sperimentale di questa scienza, la quale troppo distoglie l'attenzione dall'elemento contemplativo. Ma la fisica, non meno delle altre scienze, ha vita ed incremento dalla comparazione.

Il modo di esprimere col linguaggio il risultato della comparazione, è sommamente vario. Quando noi diciamo che i colori dello spettro sono il rosso, il giallo, il verde, l'azzurro e il violetto, è probabile che queste denominazioni derivino dalla pratica del tatuaggio, o che questi colori sono quelli della rosa, dell'arancio, delle foglie, del fiordaliso, della viola mammola. Ma ricorrendosi frequentemente a siffatte comparazioni in circostanze diversissime, i caratteri variabili rispetto ai caratteri costanti si vennero così attenuando, che

questi acquistarono un significato per sè stante, indipendente da qualsiasi oggetto, da qualsiasi associazione, ossia un significato astratto. Il vocabolo " rosso " per noi non ha colla rosa altro rapporto che quello del colore, come il vocabolo " retto " non ha colla cordicella tesa altro rapporto che quello della direzione. Così anche i numeri in origine sono i nomi delle dita, delle mani e dei piedi, adoperati dapprima come simboli ordinali per ogni sorta di oggetti, e divenuti poi concetti astratti. La notizia orale di un fatto, senza altro mezzo che questo puramente astratto, è ciò che noi diciamo descrizione diretta.

La descrizione diretta di un fatto di qualche estensione è un lavoro faticoso, anche quando i necessari concetti sono perfettamente sviluppati. È dunque una grande agevolezza il poter dire senz'altro che il fatto A, di cui si suol fare la descrizione, ha non soltanto uno, ma molti caratteri comuni col fatto B, che è già noto. La gravitazione della luna è analoga a quella dei corpi gravi verso la terra, la luce è analoga ad un movimento ondulatorio o ad una vibrazione elettrica, il magnete si comporta come se fosse carico di un fluido gravitante, ecc. Siffatta descrizione, nella quale ci riferiamo ad un altra già perfettamente nota, od anche non in tutte le sue parti compiuta, è ciò che chiamiamo descrizione indiretta. Nulla ci impedisce di integrarla e di correggerla gradatamente con una descrizione diretta, od anche di porre questa in luogo di quella.

Ma che cosa è una idea teoretica? Donde ci viene? A che ci giova? Perchè ci sembra che essa sia qualche cosa di più elevato della semplice osservazione, del semplice accertamento di un fatto? Anche qui non si tratta che di memoria e di comparazione. Ma in questo caso, in luogo di una sola analogia, si affaccia alla

nostra mente un vasto e compiuto sistema di analogie, una fisionomia a noi ben nota, mediante la quale il nuovo fatto improvvisamente ci appare come se già lo conoscessimo. Anzi l'idea teoretica può darci qualche cosa di più che a tutta prima non abbiamo veduto nel nuovo fatto, essa può ampliarlo, e farci intuire nuovi particolari che poi realmente si trovano nel fatto. Questa rapida estensione del sapere è un vantaggio della teoria rispetto alla semplice osservazione; ma questo è un vantaggio puramente quantitativo; del resto non c'è alcuna essenziale differenza qualitativa tra la teoria e l'osservazione, nè nel loro modo di originarsi nè nei loro ultimi risultati.

Ma quando si accetta una teoria si va sempre incontro ad un pericolo, poichè la teoria in luogo di un fatto A pone sempre nel pensiero un fatto B, più semplice e a noi più familiare, il quale per certi rispetti può rappresentare idealmente il fatto B, ma per certi altri non può rappresentarlo, appunto perchè è un altro fatto. E se, come spesso avviene, non si procede colla necessaria discrezione, la più feconda teoria diviene talora un ostacolo alla ricerca scientifica. Così è evidente che la teoria dell'emissione, avvezzando i fisici a concepire la traiettoria delle " particelle luminose " come una linea retta indifferenziata, rese difficile la scoperta della periodicità della luce. Quando Huygens nel suo pensiero sostituisce alla luce il suono, fenomeno a lui più famigliare, la luce per certi rispetti gli appare come un fatto già noto, ma rispetto alla polarizzazione, nella quale mancano le ondulazioni longitudinali, le sole che egli conosca, essa diviene per lui doppiamente inesplicabile. Così egli non può spiegarsi il fatto della polarizzazione, che ha davanti agli occhi, mentre Newton, adattando il suo pensiero alla pura osservazione, pone il quesito: *An non radiorum lu-*

minis diversa sunt latera? col quale è concepito astrattamente o direttamente descritto, un secolo prima di Malus, il fatto della polarizzazione. Ma se al contrario la corrispondenza tra il nuovo fatto e quello che teoricamente lo rappresenta si estende più di quel che il teorico a tutta prima abbia pensato, allora questi è guidato ad inaspettate scoperte, delle quali abbiamo esempi notissimi, e contrastanti a quel che sopra si è detto, nella rifrazione conica, nella polarizzazione circolare mediante la riflessione totale, e nelle vibrazioni di Herz.

Forse ci faremo un concetto più chiaro di queste condizioni, seguendo nei suoi particolari lo svolgimento di questa o di quella teoria. Osserviamo un pezzo di acciaio magnetizzato accanto ad un altro in tutto il resto uguale ma non magnetizzato. Accostando al secondo pezzo della limatura di ferro, nulla avviene; accostandola al primo esso la attrae. Anche se non ci fosse la limatura di ferro, dobbiamo ora pensare che l'acciaio magnetizzato si trovi in una condizione diversa dal non magnetizzato, poichè non è la presenza della limatura che produca il fenomeno dell'attrazione, e ce lo prova l'altro pezzo d'acciaio non magnetizzato. L'uomo ingenuo, che trova nella propria volontà la sorgente d'energia a lui più nota e perciò il termine più ovvio di comparazione, immagina nel magnete una specie di spirito; idee consimili gli suggeriscono un corpo caldo od un corpo elettrico. È questo il fondamento delle teorie più antiche, del feticismo; gli studiosi del primo Medio Evo non seppero andare più in là, e le ultime tracce di questo abito intellettuale si vedono nel concetto delle forze proprie della fisica moderna. Di qui si vede che l'elemento *drammatico* non deve mancare in una descrizione fisica, come in un romanzo *à sensation*.

Ma proseguendo nell'osservazione si riconosce che un corpo freddo accostato ad un corpo caldo si riscalda a scapito di questo, e che di due corpi omogenei il più freddo, posto che il suo volume sia doppio di quello del corpo più caldo, non acquista che la metà dei gradi di temperatura perduti dall'altro. Allora avviene nelle nostre idee un mutamento radicale; scompare il carattere demoniaco del fatto, poichè quello che si credeva uno spirito non opera ad arbitrio, ma secondo certe leggi. E qui istintivamente nasce in noi l'idea di una sostanza che passa da un corpo in un altro, rimanendo costante la quantità totale di essa, rappresentata dalla somma dei prodotti delle masse e delle relative variazioni di temperatura. Black per il primo, dominato da questa analogia del cambiamento di temperatura con un movimento di materia, colla scorta di questo concetto scoperse il calore specifico e il calore di liquefazione e di evaporazione dei corpi. Ma la teoria del calore come sostanza, avvalorata da questi successi, divenne un ostacolo ad ulteriori progressi. Essa fece velo agli occhi dei continuatori di Black, ed impedì loro di accorgersi di un fatto che fino i selvaggi conoscono, ossia che si può produrre calore mediante la confricazione. Benchè il concetto di Black sia stato per lui fecondissimo, ed anche oggi sia utile a chiunque intraprende lo studio delle questioni speciali già da lui studiate, esso non può più ai nostri giorni elevarsi a teoria stabile ed universale. Ma ciò che è essenziale in questo concetto, cioè la costanza della somma dei prodotti sopra accennati, conserva il suo valore, e può essere considerato come una descrizione diretta dei fatti di Black.

È naturale che quelle teorie che si presentano alla mente affatto spontaneamente, quasi per istinto, siano le più potenti, trascinino seco il pensiero, ed abbiano

in sè una grande forza di conservazione. D'altra parte si può anche osservare come esse perdano di forza appena sono assoggettate alla critica rigorosa. L'idea di sostanza ci domina continuamente, i modi e le azioni della sostanza sono fortemente impressi nel nostro pensiero, ad esso si associano le nostre più chiare e più vivaci reminiscenze. Non c'è dunque da far le meraviglie che Roberto Mayer e Joule, i quali hanno definitivamente distrutto il concetto sostanziale di Black, alla loro volta abbiano di nuovo introdotto questo concetto di sostanza, in forma modificata e più astratta, in un campo molto più vasto.

Anche qui vediamo chiaramente le circostanze psicologiche dalle quali il nuovo concetto trasse la sua forza. L'insolito color rosso del sangue venoso nei climi tropicali richiama l'attenzione di Mayer sul minor dispendio di calore interno e sul corrispondente minor consumo di materia del corpo umano in questi climi. Ma siccome ogni estrinsecazione di forza del corpo umano, compreso il lavoro meccanico, si collega ad un consumo di materia, ed il lavoro mediante la confricazione può produrre calore, così per conseguenza il calore ed il lavoro appaiono come equivalenti, e tra l'uno e l'altro deve esserci una relazione proporzionale. Non ciascuna quantità, ma la somma opportunamente calcolata di entrambe, collegandosi con un consumo proporzionale di materia, appare come sostanziale.

Movendo da considerazioni affatto analoghe, che si collegano all'economia dell'elemento galvanico, Joule giunse al suo concetto: egli trova per via di esperimento che la somma del calore sviluppato nel circuito, del calore consumato nella combustione del gas detonante e del lavoro elettro-magnetico della corrente, opportunamente calcolato, in breve la somma di tutti gli effetti della batteria, si collega ad un proporzio-

nale consumo di zinco. Per conseguenza anche questa somma ha carattere sostanziale.

Mayer fu così affascinato dall' idea che di qui gli risulta, da parergli evidente *a priori* l'indistruttibilità della forza, o secondo la nostra terminologia, del lavoro. " Creare o distruggere una forza — egli dice — è cosa che trascende l' intelletto e la potenza dell'uomo „. E con lui concorda Joule, che dice: " È manifestamente assurdo ammettere che le forze poste da Dio nella materia possano essere distrutte, mentre non è possibile crearle „. Strano a dirsi, queste affermazioni valsero non a Joule, ma a Mayer, la taccia di metafisico. Ma noi possiamo essere ben certi che questi due uomini espressero, e in parte inconsciamente, una intensa aspirazione formale ad un nuovo e semplice concetto, e che entrambi si sarebbero fortemente meravigliati se si fosse loro proposto di convocare a decidere sulla validità del loro principio un congresso di filosofi od un concilio di ecclesiastici. Del resto, malgrado questa concordanza, questi due scienziati proseguirono fini affatto diversi. Mayer rappresentava colla massima forza istintiva del genio, direi quasi con una specie di fanatismo, l'aspirazione formale, e la potenza astrattiva del suo intelletto non era inferiore al fine che egli si proponeva, di calcolare prima di ogni altro scienziato, mediante dati numerici da lungo tempo conosciuti e universalmente applicabili, l'equivalente meccanico del calore, e di formulare per la nuova dottrina un programma che comprendesse tutta la fisica e la fisiologia; Joule all' incontro si applicò alla esatta verificazione della dottrina mediante esperimenti mirabilmente ideati e maestrevolmente eseguiti in tutti i rami della fisica. Poco dopo lo studio della questione fu ripreso da Helmholtz, secondo il suo metodo originale e caratteristico. Oltre alla abilità profes-

sionale, colla quale questo fisico sa impadronirsi di tutti i punti ancora non messi in chiaro nel programma di Mayer, e di altre questioni, è da ammirare nella opera sua la perfetta chiarezza critica, straordinaria in un giovine di ventisei anni. Alla sua esposizione manca l'impeto veemente di Mayer. Per lui il principio della conservazione dell'energia non è un principio evidente *a priori*. Quali conseguenze ne deriverebbero, quando lo si assumesse per vero? In questa forma ipotetica ed interrogativa egli domina interamente la sua materia.

Devo confessare che mi sono molte volte meravigliato del senso estetico ed etico di certi nostri contemporanei, i quali da queste circostanze seppero derivare odiose questioni nazionali e personali, e non seppero apprezzare il benefizio della fortuna che suscitò nello stesso tempo l'attività di tali uomini, nè quello della diversità, per noi così feconda ed istruttiva, delle disposizioni intellettuali che essi ebbero da natura.

Noi sappiamo che allo sviluppo del principio della energia contribuì anche un'altra teoria, della quale Mayer seppe valersi con grandissima libertà, cioè quella per la quale il calore e tutti gli altri procedimenti fisici non sono che movimenti. Trovato il principio dell'energia, queste teorie ausiliarie e transitorie cessano di avere una funzione essenziale, e possiamo considerare questo principio, al pari di quello di Black, come un contributo alla descrizione diretta di una estesa cerchia di fatti.

Da queste considerazioni risulterebbe non solo come consigliabile, ma quasi come doveroso, non il ricusare nelle nostre investigazioni l'efficace aiuto delle idee teoriche, ma il sostituire gradatamente, a misura che acquistiamo sicura cognizione di nuovi fatti, la descri-

zione diretta alla indiretta, la quale non contiene più nulla che non sia essenziale e si restringe rigorosamente alla astratta comprensione dei fatti. Si potrebbe quasi dire che le scienze naturali descrittive, così denominate non senza benevola condiscendenza, hanno derivato il loro carattere scientifico dai metodi espositivi della fisica che tennero il campo quasi fino ai nostri giorni. E potremmo anche dire che in questo caso la necessità è divenuta una virtù.

Dobbiamo ammettere che non sempre siamo in grado di dare di ciascun fatto una descrizione diretta. Che anzi, se d'un tratto fosse offerta alla nostra mente l'infinita copia dei fatti che veniamo a conoscere poco a poco, dovremmo darci per vinti. Per nostra fortuna, la nostra attenzione è eccitata principalmente dai fatti isolati e straordinari, dei quali acquistiamo maggior conoscenza comparandoli coi fatti di ogni giorno. Di qui cominciano a svolgersi i concetti del linguaggio comune. In seguito le comparazioni si fanno più svariate e più numerose, i gruppi di fatti già paragonati acquistano maggiore estensione e facendosi pure più generali e più astratti i concetti che ne risultano, diviene possibile la descrizione diretta.

Noi cominciamo a renderci familiare il moto dei corpi liberamente cadenti. I concetti di forza, di massa, di lavoro sono poi da noi trasferiti, con opportune modificazioni, ai fenomeni elettrici e magnetici. Si vuole che la corrente acquea abbia suggerito a Fourier la prima idea della corrente di calore. Un caso speciale di vibrazione di una corda, osservato da Taylor, gli spiegò un caso speciale della conduzione del calore. E come Daniele Bernoulli ed Eulero dal caso speciale di Taylor costruirono i casi più svariati di vibrazione

delle corde, così Fourier in modo analogo da semplici casi di conduzione costruì i più svariati movimenti del calore: questo metodo si è esteso a tutto il dominio della fisica. Ohm formò il suo concetto della corrente elettrica ad imitazione di quello di Fourier. Questi accoglie anche la teoria della diffusione di Fick. In modo analogo si svolge il concetto della corrente magnetica. In tutte le specie di correnti stazionarie si riconoscono caratteri comuni, e perfino la condizione di perfetto equilibrio in un mezzo esteso è analoga in questo alla condizione dinamica di equilibrio di una corrente stazionaria. Cose tra sè così remote come le linee magnetiche di forza in una corrente elettrica e le linee di corrente di un vortice liquido privo di attrito, rivelano una particolare relazione di somiglianza. Il concetto di potenziale, costituito dapprima in un campo molto angusto, acquista una applicabilità sempre più estesa. Cose tra sè così dissimili come la pressione, la temperatura, la forza elettro-motrice si manifestano analoghe nelle loro relazioni rispetto a certi concetti derivati da esse in modo determinato, come casi di pressione, casi di temperatura, casi di potenziale, e coi concetti ulteriori di forza di corrente liquida, termale, elettrica. Siffatta relazione tra sistemi di concetti, nella quale chiaramente appare alla coscienza sia la dissomiglianza dei concetti omologhi considerati due a due, come la corrispondenza logica di ciascuna coppia di concetti omologhi, è ciò che diciamo analogia. Essa è un mezzo efficace per dominare gruppi di fatti eterogenei comprendendoli in una unità di concetto. Di qui appare luminosa la via per la quale potrà svolgersi una fenomenologia fisica universale che comprenda tutte le parti della fisica.

Seguendo il procedimento sopradescritto noi non acquistiamo se non ciò che è indispensabile alla descri-

zione diretta di una vasta cerchia di fatti, ossia un concetto astratto molto comprensivo. E qui mi si conceda una questione che parrà pedantesca, ma è inevitabile. Che cosa è un concetto? È forse una rappresentazione obliterata, ma tuttavia ancora visibile alla mente? No. Questo avviene soltanto in certi casi semplicissimi, dei quali è un fenomeno accessorio. Si pensi, ad esempio al concetto di " coefficiente di auto-induzione „ e se ne cerchi la rappresentazione visibile. Oppure il concetto sarebbe nient'altro che una parola? Se per disperazione accettassimo questa idea, che pure fu recentemente espresso da un autorevole matematico, ritorneremmo indietro di mille anni, alla più buia scolastica. Dobbiamo dunque respingere tale definizione.

La soluzione non è lontana. Non dobbiamo pensare che la sensazione sia un processo puramente passivo. Gli infimi tra gli organismi rispondono alla sensazione con un movimento riflesso, inghiottendo la preda che loro si è offerta. Negli organismi superiori lo stimolo centripeto trova nel sistema nervoso ostacoli ed aiuti, che modificano il processo centrifugo. Negli organismi ancora più elevati, mediante l'assaggio ed il procacciamento della preda, il processo sopra accennato può propagarsi per una compiuta serie di movimenti circolari, prima di ritornare alla quiete relativa. Anche la nostra vita si svolge in procedimenti analoghi, e tutto ciò che diciamo scienza possiamo considerarlo come una serie di parti, di termini medii di questo processo.

Non sarò dunque tacciato di stranezza, se dirò: la definizione di un concetto, o quando essa sia ovvia, il nome stesso del concetto, è un impulso ad una attività esattamente determinata, spesso complicata, critica, comparativa o costruttiva, di cui per lo più il risultato sensibile è un membro dell'ámbito stesso del

concetto. Non importa che il concetto diriga la nostra attenzione ad un senso determinato (la vista), od ad una fase di un senso (colore, forma), oppure spieghi una azione particolareggiata; non importa neppure che l'attività di cui si tratta (operazione chimica, anatomica, matematica) sia muscolare o tecnica, o formata interamente nella fantasia, od anche appena significata. Il concetto è per lo scienziato ciò che la nota per il pianista. Un esperto fisico o matematico legge un trattato della sua scienza come il musicista legge una partitura. Ma come il pianista deve prima imparare a muovere le sue dita separate e combinate, prima di poter quasi inconsciamente tradurre le note in suoni, così il fisico ed il matematico devono fare un lungo tirocinio prima di potere, se così mi è lecito esprimere, dominare le molteplici e sottili innervazioni dei loro muscoli e della loro fantasia. Quante volte nella matematica o nella fisica il principiante fa qualche operazione di più o di meno del necessario, o concepisce le cose in modo diverso dal vero! Ma se dopo sufficiente esercizio egli trova il termine " coefficiente di auto-induzione ", egli capisce subito ciò che esso gli dice. Adunque il nucleo dei concetti è costituito da attività lungamente esercitate che hanno la loro origine nella necessità di comparare e di esporre i fatti gli uni mediante gli altri. Che anzi, la glottologia positiva e la glottologia filosofica concordemente affermano, che tutte le radici esprimono nient'altro che concetti, ed in origine niente altro che attività muscolari. Ed ora si capisce perchè i fisici si mostrassero un po' restii ad ammettere la massima di Kirchhoff. Essi sentivano quale gran tesoro di lavoro individuale, di teorie individuali, di abilità, è necessario prima che l'ideale della descrizione diretta possa essere messo in atto.

Poniamo che in una data cerchia di fatti questo ideale già stato conseguito. La descrizione darà tutto ciò che lo scienziato può desiderare? Io credo che sì. La descrizione è una costruzione del fatto nel pensiero, la quale nelle scienze sperimentali spesso rende possibile una reale riproduzione di esso. Per il fisico specialmente le unità di massa sono come le pietre da fabbrica, i concetti sono il piano costruttivo, ed i fatti il risultato della costruzione. Le nostre immagini intellettuali sono per noi un surrogato quasi perfetto dei fatti, al quale noi possiamo trasferire tutte le proprietà di essi. Ciò che noi stessi possiamo produrre, non è certo tra le cose di cui abbiamo meno chiara cognizione.

Si esige dalla scienza il dono della profezia, ed anche Hertz usa questo vocabolo nella sua opera postuma sulla Meccanica. Ma il vocabolo, benchè ovvio, ha un significato troppo ristretto. Il geologo, il paleontologo, talora l'astronomo, e in ogni caso lo storico ed il glottologo, fanno per così dire delle profezie retrospettive. Le scienze descrittive, la geometria, la matematica non profetizzano nè il passato nè l'avvenire, ma movendo dal determinato cercano il determinato. Diciamo piuttosto: la scienza deve talora integrare nel pensiero fatti di cui si conosce già una parte. Questo diviene possibile mediante la descrizione, poichè questa presuppone una reciproca dipendenza degli elementi descrittivi; chè se così non fosse non si descriverebbe nulla.

Si dice che la descrizione non appaga la nostra aspirazione alla causalità. In realtà si crede di comprendere meglio i movimenti immaginandosi le forze attraenti; tuttavia le accelerazioni, che sono un fatto, dànno alla nostra mente qualche cosa di più, e non vi introducono nulla di superfluo. Io spero che la scienza

futura eliminerà come difettosi dal lato della chiarezza formale, i concetti di causa e di effetto, i quali hanno secondo me, e non sono il solo che così la pensi, un forte sentore di feticismo. Mi pare molto preferibile il considerare gli elementi astratti determinativi di un fatto come reciprocamente dipendenti, nel senso puramente logico, come fanno il matematico ed il geometra. Anzi, mediante la comparazione colla volontà le forze si avvicinano meglio alla nostra comprensione, e forse anche la volontà si comprende meglio comparandola colla accelerazione delle masse.

Se noi ci domandiamo coscienziosamente, quando è che un fatto ci appare chiaro, dobbiamo riconoscere che ciò avviene quando possiamo riprodurlo mentalmente con operazioni semplicissime ed a noi familiari, come la costruzione ideale delle accelerazioni, la somma geometrica di esse, e simili. È superfluo il dire che questo requisito della semplicità non è il medesimo per lo scienziato e per il principiante. Al primo basta la descrizione mediante un sistema di equazioni differenziali, ma al secondo abbisogna la costruzione graduale fondata sopra leggi elementari. Il primo abbraccia tosto coll'occhio della mente entrambe le esposizioni. Ma non occorre osservare che due descrizioni equivalenti nella sostanza possono notevolmente differire quanto al valore artistico, se così possiam dire.

È cosa tra le più difficili il persuadere i profani, che le grandi leggi universali della fisica per qualsivoglia sistema di masse, od elettrico, o magnetico, non possono sostanzialmente differire dalla descrizione. La fisica rispetto a molte altre scienze ha un vantaggio facile a riconoscersi. Quando, ad es., un anatomico, ricercando i caratteri corrispondenti e discordanti di vari animali, procede a classificazioni sempre più minute, i fatti singoli che costituiscono gli ultimi termini

del sistema risultano così differenti tra loro da dovere essere considerati uno per uno. Si pensi, ad es., al carattere comune dei vertebrati, ai caratteri comuni della classe dei mammiferi e di quella degli uccelli da una parte e di quella dei pesci dall'altra, alla circolazione del sangue che in quelli è doppia e semplice in questi. In ultima analisi rimangono sempre fatti isolati tra i quali non c'è che una tenuissima analogia.

Una scienza che alla fisica è molto più affine, la chimica, si trova spesso in somiglianti condizioni. L'improvviso mutamento delle proprietà qualitative, che forse è determinato dalla poca stabilità delle condizioni intermedie, la scarsa analogia esistente tra i fatti coordinati dalla chimica, accrescono le difficoltà di essa. Coppie di corpi di proprietà qualitative diverse si combinano in differenti proporzioni di massa, ma non è facile percepire alla prima la connessione tra queste e quelle.

La fisica al contrario ci offre vasti sistemi di fatti qualitativamente omogenei, i quali non si differenziano se non per il numero delle parti uguali nelle quali si possono scomporre i loro caratteri, ossia quantitativamente. Anche dove si tratta di qualità (colori e toni), conosciamo di esse i caratteri quantitativi. Qui la classificazione è così semplice, che una continuità di fatti, cioè il sistema numerico, è sempre a nostra disposizione per proseguire fin dove si vuole. Tra i fatti coordinati c'è grande somiglianza ed affinità, e così pure tra le loro descrizioni, che consistono in una determinazione delle misure numeriche di certi caratteri mediante quelle di altri caratteri, il che si fa con facili operazioni matematiche, ossia con processi di derivazione. Nella fisica si può dunque trovare il carattere comune di tutte le descrizioni, e dare insieme una descrizione sintetica od una regola di costruzione valida per tutte le singole

descrizioni, ossia ciò che diciamo una legge. Esempi universalmente noti sono le formole relative ai corpi liberamente cadenti, ai proiettili, al movimento centrale, e simili. Se adunque la fisica dà in apparenza risultati più completi di quelli delle altre scienze, da altra parte non dobbiamo dimenticare che essa si occupa di problemi molto più semplici.

Le altre scienze, di cui i fatti hanno anche un aspetto fisico, non hanno da invidiare alla fisica questo suo privilegio, perchè ogni incremento di questa in definitivo torna a loro vantaggio. Ma anche per altra via in questo reciproco aiuto può e deve avvenire un mutamento. La chimica ha già saputo appropriarsi ottimamente i metodi della fisica. Per non parlare di altri tentativi più antichi, le serie metodiche di L. Meyer e di Mendelejeff sono un mezzo geniale e fecondo per costruire un sistema perspicuo di fatti che completandosi poco a poco verrà quasi a rappresentare una continuità. E mediante lo studio delle soluzioni, della dissociazione, e in generale dei processi che realmente presentano una continuità di casi, i metodi della termodinamica sono penetrati nella chimica. Così possiamo anche sperare che quando i paleontologi dell'avvenire abbiano arricchito l'embriologia di un maggior numero di forme intermedie e derivative tra i saurii fossili e gli uccelli dell'età presente, colmandone la lacuna meglio che ora non si possa fare col *Pterodaktylus,* coll'*Archaeopteryx*, coll'*Ichthyornis* ecc., sorga un matematico che mediante le variazioni di un solo parametro sappia risolvere, come in quadro dissolvente, una forma in un'altra, nello stesso modo che si trasformano l'una nell'altra le sezioni coniche.

Ritornando ora alla sentenza di Kirchhoff, possiamo

facilmente darci ragione del significato di essa. Non si innalza una fabbrica senza pietre, senza calce, senza armature, senza pratica dell'arte muraria. Tuttavia è ragionevole il desiderio che l'edificio destinato alle future generazioni sia in ogni parte compiuto, si sostenga per sola forza propria e non lasci vedere traccia di armatura. In Kirchhoff parla il senso logico ed estetico del matematico. Al suo ideale tendono le più recenti esposizioni della fisica, ed anche a noi esso è intelligibile. Ma sarebbe un vero sproposito didattico il dire ad uno che si proponga di farsi architetto: Questo è un magnifico edifizio; se vuoi essere architetto, va e fanne uno uguale.

I limiti che separano le scienze speciali, che dànno luogo alla divisione del lavoro ed all'approfondirsi di ciascuna di esse, limiti dei quali ci facciamo ancora una idea così meschina e pedantesca, poco a poco scompariranno. Si aggiunge ponte a ponte; il contenuto ed i metodi delle scienze più disparate sono messi a confronto. Se tra cento anni si adunerà un congresso di fisici e di naturalisti, è da prevedere che esso rappresenterà una vera unità, in senso più alto di quel che oggi sia possibile, non soltanto nello spirito e nello scopo, ma anche nel metodo. E a questa grande trasformazione contribuiremo efficacemente, se non perderemo mai di vista l'intima affinità esistente tra tutte le ricerche scientifiche, affinità che Kirchhoff seppe esprimere con veramente classica semplicità.

XII.

DELLA PARTE CHE HA IL CASO NELLE INVENZIONI E NELLE SCOPERTE (1).

È una illusione caratteristica degli uomini e dei popoli giovani, nel primo svegliarsi della loro ingenua e fiduciosa attività intellettuale, il ritenere alla prima apparenza di successo che tutti i problemi si possano facilmente risolvere e comprendere nel loro intimo fondamento. Così il Savio di Mileto, osservando che l'umidità promuove la germinazione, crede di avere compreso tutta la natura, ed il Savio di Samo, scoprendo che alla lunghezza delle corde armoniche corrispondono certi numeri, crede di potere mediante i numeri conoscere a fondo l'essenza dell'universo. In questi tempi la filosofia e la scienza sono una cosa sola. Ma una maggior somma di esperienza mette presto in luce gli errori, suscita lo spirito critico e produce la divisione e la ramificazione della scienza.

Rimane tuttavia all'intelligenza la necessità di una visione sintetica dell'universo, e per soddisfare a questa la filosofia si allontana dalle scienze speciali. E benchè il filosofo e lo scienziato si trovino ancora e non di rado riuniti in un solo uomo straordinario, come in

---

(1) Prolusione al corso di filosofia (Storia e teoria della scienza induttiva) nell'Università di Vienna il 21 ottobre 1895.

Leibniz ed in Cartesio, nondimeno la filosofia e le singole scienze si allontanano sempre più procedendo per diverse vie. E questo straniarsi della filosofia dalle scienze speciali può giungere a tal segno, che il filosofo crede di potere sopra esperienze fanciullesche fondare la costruzione ideale del mondo, e d'altra parte lo scienziato, considerando del grande enigma dell'universo quella sola piccola parte che è oggetto delle sue ricerche, e che egli vede smisuratamente ingrandita, s'illude di averne trovato la soluzione generale, e tiene per impossibile o per superflua ogni visione più ampia, dimentico della definizione di Voltaire, qui più che in qualsiasi caso opportuna: " Le superflu — chose très nécessaire ".

È pur vero che la storia della filosofia, per colpa del difettoso materiale, è in gran parte la storia degli errori umani; nè potrebbe essere altrimenti. Ma non dobbiamo essere ingrati nè immemori, disconoscendo che i germi di certe idee donde anche oggi viene tanta luce alle scienze speciali, come la teoria degli irrazionali, il concetto della conservazione, la dottrina dell'evoluzione, l'idea dell'energia specifica, e molte altre, hanno le loro remote origini nella filosofia degli antichi tempi. Inoltre, che un uomo abbia differito o abbandonato il tentativo di orientarsi nell'universo, per insufficienza dei mezzi di cui disponeva, o che questo tentativo non l'abbia nemmeno intrapreso, non è cosa indifferente. Anzi l'abbandono di questo tentativo ha la sua punizione, poichè lo specialista nell'angusto ámbito della sua scienza ricade in quegli errori che la filosofia da gran tempo ha riconosciuto come tali. E così troviamo nella fisica e nella fisiologia, specialmente nella prima metà del nostro secolo, sistemi e teorie che quanto ad ingenua assurdità rassomigliano come due gocce d'acqua alle teorie della Scuola Ionica,

od alle idee di Platone, od alla tanta screditata prova ontologica.

Al presente si cominciano a vedere i segni di un mutamento di relazioni. Da una parte la filosofia moderna si è proposta fini più modesti e più prossimi, e non fa più il viso arcigno alle scienze speciali, anzi volenterosa si associa alle loro investigazioni; dall'altra parte le scienze speciali, così la matematica e la fisica come le scienze storiche e la scienza del linguaggio, hanno assunto un carattere più filosofico. La materia preesistente non si accetta più senza critica; lo scienziato estende le sue vedute alle discipline affini, dalle quali deriva quella di cui egli si occupa. Le singole scienze tendono ad integrarsi scambievolmente; così poco a poco si fa strada tra i filosofi la ferma persuasione che la filosofia non può essere altro che una reciproca integrazione critica, una compenetrazione e associazione di tutte le scienze in una suprema unità. Come il sangue per dar vita al corpo si dirama per una infinità di vasi capillari, per confluire nuovamente al cuore, così nella scienza dell'avvenire tutti i rivi del sapere tenderanno sempre più a riunirsi in una sola corrente.

A me piace schierarmi tra gli assertori di questo concetto, ormai non più nuovo alla presente generazione. Ma non dovete perciò sperare o temere che io voglia costruirvi un sistema. Rimango quel che sono, cioè un investigatore della natura. Ma non vi aspettate neppure che io voglia spaziare per tutti i campi delle scienze fisiche e naturali. Soltanto nel terreno a me familiare io posso osare di propormi per guida ad altri, soltanto in questo mi è lecito sperare che il mio contributo sia di qualche vantaggio alla grande opera di cui dicevo più sopra. Se riescirò a farvi vedere le relazioni esistenti tra la fisica, la psicologia e la cri-

tica gnoseologica, per modo che ciascuna di queste scienze possa rischiarare ed ampliare i vostri concetti sopra ciascuna delle altre, non mi parrà di aver lavorato invano. Ma per darvi un esempio del come, nei limiti delle mie forze e dei miei concetti, io intenda condurre le mie ricerche, mi occuperò oggi, nella modesta forma di un saggio, di un argomento speciale e limitato, cioè della parte che ha il caso nelle invenzioni e nelle scoperte.

Quando di un uomo si dice che non ha inventato la polvere, non si intende con ciò di fare un elogio superlativo della sua intelligenza. Il detto proverbiale non mi pare molto appropriato, perchè se c'è una invenzione della quale la minor parte spetti alla applicazione cosciente, e la maggiore al caso fortunato, è questa per l'appunto. Ma dovremo in generale negare o menomare il merito di un inventore, perchè il caso gli venne in aiuto? Huygens, che fece tante invenzioni e tante scoperte da potergli riconoscere qualche autorità in materia, assegna al caso una parte molto importante, dicendo che l'inventore del telescopio, se non fosse stato favorito dal caso, dovrebbe essere tenuto come un genio sovrumano (1).

L'uomo posto nel mezzo della civiltà, anche se non guardiamo che ai mezzi di soddisfare i bisogni quotidiani, si trova circondato da una grande quantità di meravigliose invenzioni. Ma se ci trasportiamo col pensiero al tempo anteriore a queste invenzioni, e cer-

(1) " Quod si quis tanta industria extitisset, ut ex naturae principiis et geometria hanc rem eruere potuisset, eum ego supra mortalium sortem ingenio valuisse dicendum crederem. Sed hoc tantum abest, ut fortuito reperti artificii rationem nondum explicari potuerint viri doctissimi " — Hugenii, *Dioptrica* (*De Telescopiis*).

chiamo di comprenderle intimamente, il genio dei nostri antenati ci parrà incredibilmente grande, e non ci farà più meraviglia che la tradizione li abbia quasi divinizzati. Ma tale senso di ammirazione diminuirà di molto quando la storia dell'incivilimento, senza distruggere, anzi forse rendendo più luminosa l'aureola che circonda le nostre età remotissime, ci avrà dato di esse un concetto meno fantastico e più scientifico, dimostrandoci come molte di queste invenzioni si siano prodotte lentamente e gradatamente, per una serie di progressi quasi impercettibili.

Una piccola incavatura nel suolo, nella quale si accende il fuoco, è il primitivo focolare. La carne dell'animale ucciso, rimessa con acqua nella propria pelle, vien cotta mediante pietre arroventate. Poi questa cottura per mezzo di pietre si fa in vasi di legno. Alle zucche vuotate del midollo si dà una spalmatura di argilla perchè reggano al fuoco. Così per caso si forma la pentola di terracotta, che rende inutile la zucca, e tuttavia continua a servire di involucro a questa, oppure viene formata intorno ad un canestro, prima che esista l'arte dello stovigliaio come arte indipendente. Ed anche in seguito, quasi a ricordo delle prime origini, la ceramica conserva nella foggia o nell'ornamento qualche cosa del canestro. Così l'uomo per mezzo di circostanze accidentali, ossia indipendenti dalla sua riflessione, dalla sua previdenza e dalle sue forze, trova il modo di soddisfare sempre meglio i suoi bisogni. Senza l'aiuto del caso avrebbe l'uomo potuto prevedere che l'argilla, trattata nel modo consueto, poteva fornirgli un recipiente atto alla cottura?

La maggior parte delle invenzioni appartenenti ai primordi della civiltà, non escluso il linguaggio, la scrittura, la moneta e simili, non si hanno dunque a considerare come risultato di una riflessione volontaria

e razionale, per questa principale ragione, che la loro importanza ed utilità non potè rendersi manifesta se non mediante l'uso che se ne fece. Un albero caduto traverso un ruscello suggerì forse casualmente l'idea del ponte; il primo utensile fu forse una pietra venuta in mano per caso ad un uomo nell'abbattere i frutti di un albero. Anche l'uso del fuoco è probabile che abbia avuto la sua origine ed il suo centro di espansione in paesi dove eruzioni vulcaniche o sorgenti termali o getti di gas in combustione davano agio di osservare e di volgere ad uso pratico le proprietà del fuoco. E forse a caso forando un pezzo di legno l'uomo si accorse che si poteva produrre il fuoco mediante la confricazione, ed inventò a questo fine un utensile speciale. L'opinione espressa da un grande scienziato, che tale utensile abbia la sua origine in qualche cerimonia religiosa, ci sembra fantastica e poco credibile; così pure non consentiamo con quelli che dall'invenzione di esso vorrebbero far derivare l'uso del fuoco; tanto varrebbe farlo derivare dall'invenzione dei fiammiferi. È evidente che meglio corrisponde al vero il procedimento inverso (1).

Da consimili progressi, la cui origine è ancora in gran parte oscura, è determinato il trasformarsi dei popoli nomadi e cacciatori in popoli agricoli (2). Non vogliamo moltiplicare gli esempi; osserveremo però che i medesimi fenomeni si ripetono nei tempi storici, nei tempi delle grandi invenzioni tecniche, e che anche intorno a queste corrono opinioni in gran parte erronee, le quali attribuiscono al caso una parte esage-

(1) Ciò non esclude che più tardi questo utensile sia stato associato al culto del fuoco o del sole.

(2) Cfr. a questo proposito le interessantissime osservazioni di Carus, *The Philosophy of the tool*, Chicago 1893.

rata ed illegittima, e psicologicamente inammissibile. Così l'invenzione della macchina a vapore sembra a molti derivare naturalmente dall'avere osservato il vapore che si sprigionava da una caffettiera facendone sobbalzare il coperchio. Pensiamo un momento alla differenza tra questo fenomeno e la grande forza meccanica del vapore, per un uomo che della macchina a vapore non abbia alcuna idea. Ma supponiamo che un ingegnere, già pratico della costruzione delle pompe, immerga per caso nell'acqua per il suo collo una bottiglia fortemente riscaldata ed ancora piena di vapore; vedendo l'acqua irrompere violentemente nella bottiglia, gli si presenterà ovvia e naturale l'invenzione di una comoda e pratica pompa aspirante a vapore, fondata sopra questo fenomeno, la quale per gradi impercettibili ma psicologicamente possibili e conseguenti, potrà poco a poco trasformarsi nella macchina a vapore di Watt.

Adunque, posto pure che anche le più importanti invenzioni siano state suggerite all'uomo dal caso, quasi senza che egli se ne accorgesse, non è men vero che il caso da solo non può produrre alcuna invenzione. In nessun caso l'uomo è rimasto affatto passivo. Anche il primo pentolaio nelle foreste dell'età preistorica dovette sentire in sè una scintilla geniale. Egli dovette osservare il nuovo fenomeno, scoprirne e riconoscerne il lato per lui vantaggioso, e trovare il mezzo per valersene al suo fine. Egli dovette farsi di questa novità una idea precisa ed autonoma, e poi collegarla e quasi intesserla col rimanente del suo pensiero. In breve, egli doveva possedere l'attitudine all'esperimento.

L'attitudine all'esperimento si potrebbe addirittura considerare come l'indice dell'intelligenza. Essa varia grandemente da un individuo all'altro nella medesima stirpe, e cresce poderosamente a misura che, partendo

dagli animali inferiori, ci avviciniamo all'uomo. Gli animali inferiori non sono quasi di altro capaci che delle azioni riflesse inerenti per eredità al loro organismo; quasi affatto incapaci di esperienze individuali, delle quali del resto, per le loro semplici condizioni di vita, non hanno quasi bisogno. L'*Eburna spirata* non cessa mai di avvicinarsi, quasi immemore del dolore più volte provato, alla carnivora attinia, benchè questa l'avvolga tra i suoi filamenti urticanti (1). Lo stesso ragno si lascia attirare più volte quando si tocca la sua tela con un corista vibrante; la tignola vola sempre verso la fiamma che l'ha già scottata; la *Macroglossa stellatarum* va a cozzar col capo infinite volte contro le rose dipinte della tappezzeria (2), simile al pensatore sfortunato che riprende le mille volte nello stesso modo la spiegazione di un chimerico problema. Le mosche, sperdendosi a volo quasi come le molecole gasose di Maxwell, e quasi ugualmente irragionevoli, tendendo alla luce ed all'aria aperta, si addensano contro la lastra di vetro della finestra semiaperta e non sanno trovare la loro strada per la fessura. Il luccio, che una lastra di vetro nell'acquario separa dalle sanguinerole, soltanto dopo alcuni mesi e dopo essersi mezzo ammazzato urtando contro l'ostacolo, si accorge che non può impunemente raggiungere questi pesci, e non si muove più anche se si toglie la parete divisoria; ma se si introduce nell'acquario un pesce nuovo gli piomba sopra e lo inghiotte. Agli uccelli migranti dobbiamo già riconoscere un notevole grado di memoria, la quale, probabilmente per l'assenza di idee perturbatrici, opera così precisamente come quella di certi

(1) Möbius, *Società dei naturalisti dello Schleswig-Holstein*, Kiel 1873, pag. 113 e seg.

(2) Devo questa osservazione al prof. Hatschek.

cretini. Ma è universalmente riconosciuta l'addestrabilità dei vertebrati di ordine più elevato, nella quale indubbiamente si rivela la loro attitudine all'esperienza.

Una memoria meccanica fortemente sviluppata, che riproduca vivacemente e fedelmente nella coscienza le situazioni anteriori, basterà ad evitare un determinato pericolo ed a trarre profitto di una determinata occasione favorevole. Ma essa non basterà allo sviluppo di una invenzione. Per questa si richiedono serie più lunghe di rappresentazioni, ed il reciproco stimolo di varie serie rappresentative, un nesso più intimo e più vario di tutto il contenuto della memoria, una vita psichica non solo più potente e capace di un maggior numero di sensazioni, ma anche perfezionata dall'uso. L'uomo giunge ad un ruscello non guadabile, che costituisce per lui un serio ostacolo. Egli si ricorda di avere altra volta passato un ruscello sopra un albero che cadendo ne aveva attraversato il corso. Nelle vicinanze ci sono degli alberi. Egli ha già mosso dal loro luogo alberi caduti, anzi ne ha già abbattuti, e sa che un albero abbattuto si può muovere. Per abbattere alberi si è servito di pietre taglienti. Egli cerca una di queste pietre, e riproducendo nella sua memoria in ordine inverso gli stati di coscienza anteriori, i quali tutti acquistano vita e rilievo dal forte interesse che egli ha di passare il ruscello, inventa il ponte.

Non c'è dubbio che i vertebrati di ordine superiore, benchè in minor grado, adattano il loro modo di vivere alle circostanze. E se in essi non si osserva un notevole progresso dovuto alla accumulazione di invenzioni, ciò è abbastanza spiegato dalla differenza di grado o di intensità della loro intelligenza rispetto a quella dell'uomo; l'ammettere una differenza di specie non è necessario, in conformità del principio di indagine di Newton. Chi ogni giorno accumula un risparmio anche

minimo, ha innegabilmente un vantaggio sopra chi ogni giorno disperde quello che l'altro risparmia, o che non sa conservare quello che acquista. Una piccola differenza quantitativa basta in questo caso a spiegare una enorme differenza nella perfettibilità.

La stessa massima che vale per i tempi preistorici, non perde il suo valore nei tempi storici; ciò che si è detto delle invenzioni, è applicabile quasi letteralmente alle scoperte, poichè tra le une e le altre non c'è differenza se non nell'uso che si fa delle nuove cognizioni. In entrambi i casi non si tratta che della percezione di un nuovo nesso esistente tra proprietà nuove o già conosciute, siano sensibili o intelligibili. Si trova ad esempio che una sostanza la quale dà la reazione chimica A, risolve anche la reazione B; se questa osservazione giova in qualche modo a spiegare un concetto, a togliere una cagione di disagio intellettuale, abbiamo una scoperta; se invece la sostanza che dà la reazione A viene utilizzata per risolvere a scopo pratico la reazione B e per rimuovere una cagione di disagio materiale, abbiamo una invenzione. L'espressione di " riconoscimento *ex novo* del nesso esistente tra diverse reazioni „ dà una definizione abbastanza lata per caratterizzare tutte le invenzioni e scoperte in qualsiasi campo. Essa si adatta al principio di Pitagora, che contiene la connessione tra una reazione geometrica ed una reazione aritmetica, alla scoperta newtoniana della connessione tra il movimento di Keplero e la ragione quadrata inversa, come può adattarsi ad un piccolo perfezionamento nella costruzione di un utensile o ad una nuova ed utile manipolazione nell'arte del tintore.

Ma la mente umana non arriva a conoscere nuove serie di fatti per lungo tempo ignorati, se non per il favore di circostanze casuali, per le quali appunto i

fatti fino allora inavvertiti divengono suscettibili di osservazione. L'opera ed il merito dello scopritore consistono nella acuta attenzione che fino nelle minime tracce percepisce quello che vi è di straordinario nel fenomeno e nelle circostanze determinanti, e riconosce la via per la quale si può pervenire alla perfetta osservazione (1).

Di tale natura sono le prime percezioni dei fenomeni elettrici e magnetici, le osservazioni di Grimaldi sulle interferenze, la scoperta fatta da Arago della maggiore deviazione di un ago magnetico oscillante in una guaina di rame rispetto ad un altro posto in una scatola di cartone, l'osservazione di Foucault sulla stabilità del piano di vibrazione di un bastone rotante sul banco del tornitore e urtato casualmente, gli studi di Mayer sul color rosso del sangue venoso nelle regioni tropicali, l'osservazione di Kirchhoff sull'accrescimento della linea D nello spettro solare per l'interposizione di una lampada a sodio, la scoperta dell'ozono fatta da Schönbein mediante l'odore fosforico che si manifesta nell'aria allo sprigionarsi della scintilla elettrica, ed altre non poche. Tutti questi fatti, molti dei quali furono certamente veduti molte volte prima di essere osservati, sono esempi dell'iniziarsi di importanti scoperte da circostanze accidentali, e nello stesso tempo fanno chiaramente vedere di quanto momento sia la vigile e penetrante attenzione.

Ma non soltanto nell'inizio di una ricerca, bensì anche nella sua prosecuzione possono le circostanze cooperanti, al di fuori dell'intenzione del ricercatore, essere di grande momento. Così Dufay riconobbe l'esistenza di due stati elettrici mentre studiava il modo di essere dell'unico stato elettrico da lui presupposto.

---

(1) Cfr. Hoppe, *Scoprire ed inventare*, 1870.

Per un caso Fresnel si accorse che le strisce di interferenza impresse sopra un vetro smerigliato si vedono molto meglio all'aria aperta. Il fenomeno della diffrazione di due sfaldature si produce ben diversamente da ciò che prevedeva Fraunhofer, il quale dall'osservazione continuata di questo fatto è guidato all'importante scoperta dello spettro reticolato. Il fenomeno dell'induzione di Faraday diverge radicalmente dal concetto iniziale onde mossero gli esperimenti di questo fisico, e in questa divergenza appunto sta la vera scoperta.

Ognuno ha avuto occasione di riflettere sopra qualche fatto; ognuno a questi grandi esempi potrebbe aggiungerne dei minori, desunti dalla propria esperienza. Io mi contenterò di riferirne uno solo. Per caso viaggiando una volta in ferrovia, lungo una curva osservai la notevole obliquità apparente delle case e degli alberi. Da questo argomentai che la direzione della totale accelerazione fisica della massa reagisce fisiologicamente in senso verticale. Volendo poi esperimentare più esattamente questo solo fenomeno mediante un grande apparecchio rotante, i fenomeni concomitanti mi diedero la sensazione dell'accelerazione degli angoli, della vertigine, degli esperimenti di Flourens sulla sezione dei canali semicircolari, ecc., e di qui poco a poco si produssero in me concetti relativi alle sensazioni dell'orientazione, enunciati poco tempo dopo da Breuer e da Brown, e dapprima universalmente contestati, ma oggi per molte parti riconosciuti esatti, specialmente dopo che le ricerche di Breuer intorno alla " macula acustica „ e gli esperimenti di Kreidl sui crostacei capaci di orientazione magnetica convalidarono la teoria con nuovi dati molto interessanti.

Quanto più forte è la connessione psichica tra le molteplici immagini mnemoniche, e ciò varia secondo

le disposizioni individuali, tanto più feconda sarà questa osservazione accidentale. Galileo conosce il peso dell'aria, conosce la " resistenza del vuoto „ espressa dal peso e dall'altezza di una colonna d'acqua. Ma queste idee rimangono nella sua mente l'una accanto all'altra. Torricelli pel primo varia il peso specifico del liquido misuratore della pressione, e con ciò l'aria entra nel numero dei fluidi capaci di esercitare pressione. L'inversione delle linee spettrali fu più volte veduta prima di Kirchhoff, ed anche spiegata meccanicamente. Ma soltanto l'acuto intelletto di questo fisico seppe scoprire gli indizi della connessione di questi fenomeni colla questione del calore, ed a lui solo si manifestò nella persistenza del lavoro il vasto significato del fatto per l'equilibrio mobile del calore. Posto che già esista una molteplice ed organica connessione di tutto il contenuto della memoria, il che è un carattere del vero scienziato, il primo e più potente impulso a fortunate associazioni di idee ancora dissociate è dato dall'intensa aspirazione ad uno scopo determinato, dal predominio di una idea, la quale si costituisce spontaneamente come termine di paragone rispetto a tutte le sensazioni ed ideazioni che si succedono nella vita d'ogni giorno. Così Bradley, intensamente e continuamente occupato dal fenomeno dell'aberrazione, ne trova la spiegazione in un caso affatto insignificante occorsogli nel traversare il Tamigi. Dovremo dunque domandarci se sia il caso che viene in aiuto allo scienziato, o lo scienziato che facilita ed integra l'opera del caso.

Nessuno presuma di poter risolvere un grande problema se questo non domina tutta la sua vita in modo che ogni altra cosa divenga per lui una questione accessoria. Jolly in un breve colloquio avuto con Mayer in Heidelberg espresse come una vaga ipotesi, che data

la verità dell'opinione di Mayer, l'acqua agitata dovesse riscaldarsi. Mayer si allontana senza proferire parola. Dopo alcune settimane si presenta a Jolly, il quale a tutta prima non lo riconobbe, esclamando: " La è proprio così! „. Solo dopo alcune spiegazioni Jolly comprese quello che Mayer voleva dire. Il caso non abbisogna di commenti (1).

Anche a colui che tutto assorto nel suo pensiero sembra quasi insensibile alle impressioni esterne, può balenare alla mente un' idea che dà un indirizzo affatto nuovo al suo lavoro intellettuale. In tal caso egli è debitore della sua scoperta ad un accidente psichico, ad una esperienza intellettuale contrapposta ad una esperienza fisica, e la scoperta si compie non per via sperimentale ma per via deduttiva, e per così dire sull'immagine del mondo che egli ha nella mente. Del resto non c'è una indagine puramente sperimentale, perchè, come dice Gauss, il vero è che noi sperimentiamo sempre quello che pensiamo. Ed appunto da quella costante e reciproca correzione, e da quell'intimo contatto dell'esperimento e dalla deduzione, che ammiriamo nei Dialoghi di Galileo e nell'Ottica di Newton, dipende la felice fecondità che distingue la moderna dall'antica indagine scientifica, nella quale assai spesso l'acume dell'osservazione ed il vigore del pensiero procedono ciascuno per la sua via come estranei l'uno all'altro.

Un accidente fisico favorevole non deve giungerci inaspettato. Il procedere del nostro pensiero è governato dalla legge dell'associazione. Se è scarso il patrimonio dell'esperienza questa legge non ha altro effetto che la riproduzione meccanica di determinate espe-

(1) L'aneddoto mi fu narrato a voce e confermato per lettera dallo stesso Jolly.

rienze sensibili. Ma se la vita psichica soggiace all'azione costante di una copiosa esperienza, ogni elemento rappresentativo si connette con tanti altri, che in realtà il procedere del pensiero vien determinato od almeno influenzato da circostanze minime, talora inavvertite, che per un caso acquistano importanza decisiva. In tal caso, quello che noi chiamiamo fantasia diviene capace di produrre la sua infinita varietà di immagini. Ma che cosa possiamo noi fare per facilitare l'opera nella fantasia, non avendo in nostro potere la legge della combinazione delle immagini? Domandiamo piuttosto: quale è l'effetto che una forte idea continuamente ricorrente può produrre sopra tutte le altre? In conseguenza di ciò che si è detto, la risposta è implicita nella domanda. L'idea domina il pensiero dell'investigatore, ma non viceversa.

Tentiamo ora di penetrare un po' più addentro nel procedimento della scoperta. La condizione dello scopritore, come bene osserva W. James, non è dissimile da quella di chi si sforza di ricordare qualche cosa che ha dimenticato. Entrambi hanno come la sensazione di una lacuna, ma hanno idea indeterminata di ciò che dovrebbe riempirla. Ad esempio, io trovo in compagnia un signore col quale sono in ottime relazioni, ma ne ho dimenticato il nome; egli mi mette nell'imbarazzo pregandomi di presentarlo a qualcuno. Seguendo il consiglio di Lichtenberg cerco per prima cosa nell'alfabeto l'iniziale del suo nome; una speciale simpatia mi trattiene alla lettera G; provo ad aggiungere a questa un'altra lettera, e mi fermo all'E. Ma prima che io vi abbia aggiunto ancora la lettera R, sento pronunciare vicino a me il nome di " Gerson " ed eccomi liberato dall'imbarazzo. Uscendo di casa ho incontrato una persona che mi ha parlato di qualche affare; tornato a casa mi occupo di cose più impor-

tanti e dimentico tutto ciò che mi è stato detto. Non senza dispetto mi sforzo invano di ricordarmene; finalmente mi accorgo che il mio pensiero rifà tutta la strada percorsa nel venire a casa; a quel dato crocicchio rivedo quella persona, che mi ripete la sua comunicazione. In questo caso ritornano dunque nella coscienza l'uno dopo l'altra tutte le immagini che possono avere qualche nesso con quella che avevo dimenticata, e finalmente la rimettono in luce. Specialmente nel primo caso, se una volta è avvenuta l'esperienza ed è stata stabilmente acquisita al nostro pensiero, è facile seguire un procedimento sistematico, perchè si sa già che un nome deve constare di un determinato numero di lettere. Ma tosto si riconosce che il lavoro di combinazione potrebbe assumere enormi sproporzioni, se il nome fosse un po' lungo, e un po' meno favorevole ad esso la nostra disposizione mentale.

Non senza ragione si suol dire che l'investigatore fortunato scioglie un enigma. Ogni problema costruttivo geometrico può rivestire la forma dell'enigma. " Che cosa è M, che ha le proprietà A, B, C? Un circolo tocca le rette A, B, ma tocca la retta B nel punto C; che circolo è questo? " Le due prime condizioni richiamano alla nostra fantasia la serie dei circoli, di cui i centri nella linea di simmetria di A, B. La terza condizione ci riduce alla mente i circoli aventi il centro sulla perpendicolare da C a B. L'elemento comune, o gli elementi comuni di queste serie di rappresentazioni dànno la chiave dell'enigma, ossia sciolgono il problema. Un *rebus* od una sciarada inizia un procedimento analogo, ma la memoria è distratta in direzioni diverse, e non può spaziare se non sopra gruppi di immagini più complessi e meno chiaramente ordinati. La differenza tra la situazione mentale di un geometra rispetto ad un problema costruttivo, e quella

di un ingegnere o di uno scienziato rispetto ad un problema tecnico o scientifico, è questa soltanto, che quello si muove sopra un terreno perfettamente noto, mentre questi debbono prima acquistare del loro terreno una conoscenza esatta e sicura, molto superiore alla conoscenza comune. L'ingegnere almeno, coi mezzi di cui dispone, prosegue un fine ben determinato, ed ha perciò un vantaggio sullo scienziato, al quale talora il fine che egli si propone non è noto se non nelle linee generali. Anzi non di rado spetta a lui enunciare l'enigma; spesso anche, soltanto quando ha raggiunto il suo fine, egli acquista del problema una prospettiva intellettuale più perfetta, che avrebbe reso possibile un procedimento sistematico. Perciò in questi casi una gran parte del successo dipende dalla fortuna e dall'istinto.

Non è condizione necessaria allo svolgersi del procedimento sopra descritto, che esso si compia rapidamente e per intiero in un solo cervello, o che occupi per secoli l'intelletto di una lunga serie di pensatori. Lo stesso rapporto che c'è tra un indovinello e la parola che lo scioglie, esiste tra il moderno concetto della luce ed i fatti verificati da Grimaldi, Römer, Huygens, Newton, Young, Malus e Fresnel, e solo coll'aiuto di questo concetto, risultato di una lenta evoluzione, noi possiamo comprendere colla mente una vasta cerchia di fatti.

Alle scoperte che dobbiamo alla storia della civiltà ed alla psicologia comparata, sono un prezioso complemento le notizie che di sè ci dànno i grandi scienziati ed i grandi artisti. Diciamo scienziati ed artisti, perchè Giov. Müller e Liebig hanno arditamente affermate che nelle operazioni intellettuali degli uni e degli altri non c'è una differenza sostanziale. Leonardo da Vinci va posto tra gli scienziati o tra gli artisti? Se

l'artista con pochi motivi compone la sua opera, lo scienziato scopre i motivi che penetrano nella realtà. Se uno scienziato come Lagrange o come Fourier è in certo modo un artista nella esposizione dei risultati da lui ottenuti, un artista come Shakespeare o come Ruysdael è pure uno scienziato nella visione intellettuale che presiede all'opera sua.

Newton, interrogato sul suo metodo di lavorare, non seppe rispondere se non che egli soleva meditare a lungo sopra lo stesso argomento; in modo poco diverso parlano di sè D'Alembert, Helmholtz ed altri. Scienziati ed artisti raccomandano il lavoro tenace e paziente. Quando la mente ha più volte contemplato a lungo il medesimo soggetto, aumentano le probabilità di occasioni favorevoli; tutto ciò che può riferirsi od adattarsi all'idea dominante acquista maggior rilievo, e tutto ciò che le è estraneo poco a poco si ritrae nell'ombra e più non torna a turbare l'intelletto; allora può avvenire che tra le immagini prodotte in gran copia dalla fantasia abbandonata a sè stessa e quasi allucinata, risplenda di luce improvvisa quella che esattamente risponde all'idea, all'aspirazione od all'intenzione predominante. Quando ciò avviene, ciò che in realtà si è prodotto per via di una lenta selezione, sembra essere il risultato di un atto creativo. Così è facile comprendere come Newton, Mozart, Wagner possano affermare che le idee, le melodie, le armonie, affluivano spontanee alla loro mente, e che essi non facevano altro che ritenerne il meglio. È certo che anche il genio, ne abbia esso coscienza o segua il suo istinto, procede tuttavia fin dove è possibile sistematicamente; ma la squisitezza del suo presentimento lo fa astenere da certi tentativi, o fa che esso presto li abbandoni, mentre chi non ha avuto la sacra scintilla vi spende invano tempo e fatica. Così in breve tempo

il genio può compiere opere alle quali la vita dell'uomo mediocre sarebbe a gran pezza insufficiente (1).

A noi pare non lontana dal vero l'opinione che il genio rappresenti una deviazione forse minima dalla media dell'intellettualità, dovuta ad una maggiore sensitività, potenza e rapidità di reazione cerebrale. E se anche tali uomini, che seguendo la loro vocazione tutto sacrificano alla loro idea, invece di occuparsi dei loro materiali interessi, al perfetto filisteo parranno nè più nè meno che pazzi, noi non sappiamo indurci a considerare il genio, secondo la teoria del Lombroso, come nient'altro che una malattia, benchè purtroppo sia vero che un cervello più sensibile ed una costituzione più fragile più facilmente soggiaciono alle malattie.

Ciò che C. G. I. Jacobi dice delle scienze matematiche, che lentamente crescono e tardi e dopo molti errori pervengono alla verità, e che tutto deve essere preparato affinchè a suo tempo la nuova verità, quasi costretta da una divina necessità, venga finalmente alla luce — vale per tutte le scienze (2). Noi talora ci meravigliamo che sia stato necessario il lavoro associato e secolare di tanti sommi pensatori per conquistare una

---

(1) Ignoro se l'Accademia dei Progettisti di Lagado, inventata da Swift, nella quale si facevano grandi invenzioni e scoperte mediante il gettar di certi dadi segnati con parole, voglia essere una satira del metodo di Francesco Bacone, per fare delle scoperte mediante tabelle sinottiche composte dallo scrittore. L'invenzione non manca di piacevolezza.

(2) " Crescunt disciplinae lente tardeque; per varios errores sero pervenitur ad veritatem. Omnia praeparata esse debent diuturno et assiduo labore ad introitum veritatis novae. Iam illa certo temporis momenti divina quodam necessitate coacta emerget „. Citato da Simony. *In ein ringförmiges Band einen Knoten zu machen.* Vienna 1881, pag. 41.

verità che noi possiamo imparare in poche ore e che, una volta conosciuta, ci sembra che in favorevoli circostanze si sarebbe potuta facilmente scoprire. Questo umilia il nostro orgoglio facendoci vedere come anche l'uomo più straordinario sia fatto più per la vita pratica che per la ricerca scientifica. Oggi abbiamo voluto dimostrare quanto egli debba al caso, ossia a quella particolare coincidenza della vita fisica e della vita psichica nella quale chiaramente appare l'adattamento di questa a quella, adattamento che è in continuo progresso, ma non è e non sarà mai perfetto. La poetica idea di Jacobi, di una divina necessità operante nella scienza, non perde nulla della sua sublimità se in questa noi riconosciamo quella medesima necessità, che distrugge tutto ciò che non è adatto a vivere e promuove ed accresce tutto ciò che è vitale. Poichè più grande, più sublime, più poetica di qualsiasi poesia è la realtà e la verità.

XIII.

LA COLTURA CLASSICA
E LA
COLTURA SCIENTIFICA
NELL' INSEGNAMENTO SUPERIORE (1)

Tra le più strane proposte che il famoso Maupertuis, presidente dell'Accademia di Berlino, raccomandò alle cure dei suoi contemporanei, è certamente quella

---

(1) La sostanza di questo scritto è tolta da una lettura che avrei dovuto fare al Congresso scientifico di Salisburgo nel 1881; ma il Congresso non ebbe luogo, per la coincidenza dell'Esposizione di Parigi. Toccai questo argomento nell'introduzione ad una lettura fatta nel 1883 intorno all'insegnamento della fisica nelle scuole medie; l'amichevole invito della Società tedesca tra gli insegnanti delle *Realschulen* mi offerse l'occasione di trattarlo più ampiamente e davanti a numeroso uditorio, nell'adunanza che la Società tenne in Dortmund il 16 aprile 1886. Siccome senza questa occasione non avrei forse pubblicato questo scritto, così è da osservare che le mie parole riguardano principalmente le scuole germaniche, benchè con poche varianti possano adattarsi alle austriache.

Esponendo una mia salda ed antica opinione, sono lieto che essa concordi in molte parti con quelle di Paulsen (*Geschichte des gelehrten Unterrichts.* Lipsia 1885) e di

della fondazione di una città, nella quale (per il vantaggio e per l'istruzione della gioventù studiosa) non s'avesse a parlare altra lingua che il latino. Questa città latina è rimasta nel mondo dei desideri; ma da secoli esistono istituti greco-latini nei quali i nostri giovinetti passano una buona parte della loro età, vivendo continuamente in un ambiente che non è quello del nostro tempo.

Da secoli si coltiva lo studio delle lingue classiche, da secoli affermano alcuni la necessità di esse, mentre altri la negano. Ai nostri giorni con maggiore energia non poche voci autorevoli si levano contro la prevalenza data nell'istruzione generale agli studi classici, ed in favore di un nuovo ordinamento didattico più conforme ai tempi, nel quale si faccia più larga parte alla matematica ed alle scienze fisiche e naturali.

Accettando il vostro cortese ed onorevole invito di parlare del valore che relativamente hanno nel sistema d'istruzione delle scuole superiori gli studi classici e gli studi scientifici, io credo che basterà a giustificarmi il dovere e la necessità che s'impone ad ogni docente, di formarsi dalla propria esperienza un'opinione sopra questo grave argomento, dovere e necessità che a me si impongono in particolar modo, perchè nella mia

---

FRARY (*La question du latin.* Parigi 1885). Non ho la pretesa di dir cose nuove, ma piuttosto il desiderio di contribuire nella misura delle mie forze, al movimento delle idee riformatrici intorno alla questione scolastica. Il prossimo risultato di questo movimento, secondo l'opinione di persone autorevoli in materia, sarà che il greco e la matematica nelle classi superiori del ginnasio tedesco saranno materie facoltative. Si toglierebbe così il dissidio tra il *Gymnasium*, che ha indirizzo umanistico, ed il *Realgymnasium*, che ha indirizzo più pratico, preparandosi pacificamente la via ad ulteriori ed inevitabili riforme.

giovinezza solo per breve tempo (poco prima di entrare all'università) sentii l'influsso di un insegnamento scolastico e potei così, solo per poco, osservare l'effetto di vari differenti metodi in me stesso.

Venendo ora a considerare ciò che i fautori degli studi classici adducono in difesa di questi, e ciò che obiettano o affermano a sostegno della loro opinione i campioni degli studi scientifici, gli argomenti dei primi ci pongono in qualche imbarazzo. Poichè tali argomenti variarono col mutar dei tempi, ed anche oggi sono molteplici, come necessariamente avviene quando si vuole conservare ad ogni costo un istituto esistente, in favor del quale si adducono tutti gli argomenti che possono in qualche modo servire alla propria tesi. Noi troveremo più di un argomento messo evidentemente in campo col solo scopo di imporne ai profani, ma anche non pochi altri posti innanzi con piena buona fede, e non mancanti di serio fondamento. Potremo farci una sufficiente idea di tali argomenti, considerando innanzi tutto quelli che si collegano alle condizioni storiche nelle quali si introdussero dapprima fra noi gli studi classici, e poi quelli che si aggiunsero recentemente, quasi trovati per un caso fortunato, a corroborare i primi.

Lo studio del latino, come ampiamente dimostra Paulsen (1), fu messo in onore dalla chiesa di Roma insieme colla fede cristiana. In latino si conservavano le scarse reliquie della sapienza antica. Per chi voleva conoscere questa sapienza, e nei tempi barbari non ce n'era altra, unico e necessario mezzo era la lingua

(1) Paulsen, *Geschichte des gelehrten Unterrichts*, Leipzig 1885.

latina; doveva imparare il latino chiunque ambisse di essere annoverato tra le persone colte.

La grande potenza della Chiesa produsse molteplici effetti, e tra gli effetti benefici dobbiamo senza dubbio annoverare quella certa uniformità che essa stabilì tra i popoli, quelle relazioni internazionali di cui era strumento la lingua latina, donde ebbe il primo e maggiore impulso il lavoro collettivo dei popoli per accrescere il patrimonio della comune civiltà, tra il secolo XV ed il XVIII. Per lungo tempo il latino fu la lingua dei dotti, e lo studio di esso apriva l'adito a quella cultura generale, della quale noi conserviamo il vocabolo, benchè da lungo tempo improprio.

Per gli scienziati, considerati come un ceto a parte, può parere un danno che il latino abbia cessato di essere la lingua scientifica internazionale. Ma l'affermare che il latino non potè mantenersi in questa funzione perchè inadatto all'espressione di un gran numero di idee e di concetti che la scienza venne via via producendo nel suo progredire, a me sembra affatto erroneo. Tra gli scienziati moderni non ce n'è forse uno che per avere arricchito la scienza di nuovi concetti possa stare a paro di Newton, e tuttavia questi seppe esprimerli con mirabile correttezza e precisione in latino. Se l'opinione sopraccennata fosse vera, dovrebbe essere applicabile anche alle lingue moderne, poichè ogni lingua deve innanzi tutto adattarsi alle nuove idee.

Io credo piuttosto che il latino sia stato spodestato nella letteratura scientifica per opera delle persone nobili ed agiate. Volendo queste partecipare al godimento della letteratura amena e della letteratura scientifica, senza l'incomodo d'imparar prima il latino, recarono un grande benefizio anche al popolo. Poichè colla decadenza del latino la scienza e la letteratura cessavano

di essere un privilegio di un piccolo ceto di dotti, e questo è forse il più grande progresso dei tempi moderni. Nessuno al giorno d'oggi, essendosi stabilite le comunicazioni intellettuali tra i vari popoli, malgrado la diversità delle lingue, potrebbe pensare seriamente a rimettere in uso la lingua latina (1).

Che alle lingue antiche non manchi l'attitudine ad esprimere nuovi concetti, risulta dal fatto che la maggior parte dei nostri concetti scientifici, come a ricordo di quel tempo in cui il latino era la lingua universale della cultura, si designano ancora con vocaboli latini o greci, sebbene essi contengano molto di nuovo. Ma se si volesse dall'uso ancora esistente di questi vocaboli dedurre la necessità per colui che li adopera di imparare il latino ed il greco, la conclusione parrebbe certamente eccessiva. Tutte le denominazioni, proprie ed improprie che siano — e di denominazioni improprie ed anche illogiche la scienza non ha scarsità — sono puramente convenzionali. L'essenziale è che l'uso comune colleghi una determinata idea al segno od al vocabolo che fu scelto per esprimerla. Poco importa che uno ignori la vera etimologia dei vocaboli telegrafo, tangente, ellissi, evoluta e simili, quando intenda esattamente il concetto che essi rappresentano. D'altra parte se anche egli ne conosca perfettamente l'etimologia, essa non gli gioverà a nulla senza il preciso concetto della cosa. Si propongano a tradurre ad un filologo di media cultura alcune linee dei *Principii* di Newton o dell'*Horologium* di Huygens, e si vedrà come

(1) Singolare ironia della sorte! Mentre Leibniz pensava ad una nuova lingua universale, il latino, che in quel tempo ne teneva ancora il luogo onorevolmente, cadeva sempre più in disuso, ed a ciò lo stesso Leibniz contribuì per la sua parte.

in questa materia la pura e semplice cognizione del latino abbia un'importanza affatto secondaria. Ogni vocabolo diviene un suono vuoto di senso. La consuetudine di adoperare vocaboli latini o greci — poichè non si tratta che di una consuetudine — ha la sua naturale ragione nella storia; essa potrebbe venir meno, e di fatti è già in decadenza. I vocaboli *gas, ohm, ampère, volt,* e simili, benchè non siano latini nè greci, sono tuttavia di uso universale. La necessità di imparare il latino ed il greco, per la ragione sovraesposta, dedicando a tali studi da otto a dieci anni, non si può affermare se non da chi attribuisca al contenente accidentale e caduco maggiore importanza che al contenuto reale. In siffatte questioni non si può avere in pochi minuti una decisione sicura da un buon vocabolario? (1).

Non c'è dubbio che la nostra civiltà si collega all'antica, e che per secoli le reliquie della civiltà antica costituirono tutto il patrimonio della civiltà europea.

---

(1) È generale la censura contro l'abuso che si fa del cervello umano, sopraccaricandolo di nozioni che molto meglio starebbero nei libri, dove ognuno può trovarle quando ne abbisogni. Recentemente così mi scriveva da Düsseldorf il giudice Hartwich: " C'è un gran numero di vocaboli perfettamente latini o greci, che da persone di più che mediocre istruzione, ma ignoranti delle lingue antiche, sono adoperati nel loro proprio significato: ad esempio il vocabolo *dinastia*. Il fanciullo e l'uomo imparano questi vocaboli come elementi del linguaggio comune, nè più nè meno che i vocaboli della lingua materna, come *padre, madre, pane, latte,* ecc. Forse che la comune dei mortali conosce l'etimologia di queste parole della propria lingua? Dovrebbe dunque ogni persona colta fare per la propria lingua quello che con incredibile fatica fecero i fratelli Grimm per la tedesca? Ed anche le persone dotate della cosidetta cultura classica, forse che non adoperano assai spesso vocaboli derivati

In quei tempi la cultura filologica era la cultura generale, la cultura superiore, la cultura ideale, perchè era anche l'unica. Ma il volerla anche oggi considerare come tale, è una pretesa assurda che noi dobbiamo assolutamente respingere, poichè la nostra civiltà poco a poco ha affermato la sua esistenza indipendente, ha oltrepassato l'antica, ed ha in generale tendenze diverse da questa. La sua maggiore potenza è nel progresso delle scienze matematiche, fisiche e naturali, le quali non solo hanno trasformato la tecnica ma dànno anche un nuovo indirizzo agli studi filosofici, storici, sociali e filologici. Le reliquie dell'antichità che ancora permangono nella filosofia, nella vita giuridica, nell'arte e nella scienza, sono di ostacolo anzichè di aiuto al progresso, e non potranno sopravvivere lungamente all'evoluzione delle idee proprie del nostro tempo.

Adunque non hanno più i filologi alcun diritto di considerarsi come i soli e veri dotti, di dare dell'ignorante a chi non sa di greco e di latino, di lagnarsi che con tal gente non si possa discorrere come con persone istruite. Essi godono quando possono mettere in giro le più amene storielle, a prova della deficiente istruzione di certi scienziati ed ingegneri; narrano di quel celebre naturalista che nell'annunciare un suo corso libero usò il vocabolo *frustra* invece di *extra*, di un ingegnere che faceva collezione di insetti e diceva di occuparsi di *etimologia*. E vero, siffatti casi secondo il nostro temperamento e l'indole dei nostri studî, ci fanno rabbrividire o ci muovono al riso. Ma tosto dobbiamo riconoscere di aver ceduto ad un pre-

da lingue straniere, dei quali non conoscono l'etimologia? Pochi credono di doverli andare a cercare nei dizionari, e tuttavia i più di loro continuano ad affermare doversi imparare le lingue antiche non fosse altro per le etimologie „.

giudizio fanciullesco. Si potrà dire che un vocabolo usato a sproposito riveli mancanza di accorgimento, ma non di istruzione. Chiunque voglia essere sincero non può non confessare che sopra molte questioni scientifiche è per lui prudente il tacere. E non vorremo essere così maligni da ritorcere la frecciata contro chi l'ha scoccata, domandando quale impressione farebbe un filologo ad uno scienziato o ad un ingegnere, quando si discorresse di argomenti scientifici. Non ci sarebbero da narrare molte amene storielle, e di errori molto più gravi, tali da disgradarne quelle che abbiamo riferito?

Questi giudizi aspri e recisi da ambe le parti dovrebbero almeno farci riconoscere, quanto rara cosa sia ai nostri giorni una cultura generale in vero senso. In siffatto modo di giudicare c'è qualche cosa del gretto orgoglio di casta proprio del Medio Evo, per il quale secondo la condizione della persona che giudicava, soltanto il cherico, il soldato od il barone era un uomo. Anzi, diciamo pure che giudicando in tal modo si dà prova di avere una idea insufficiente dello scopo a cui tende il lavoro di tutta l'umanità, di non capire che l'opera della civiltà si fonda sull'aiuto reciproco, di non avere nè libertà di vedute nè cultura generale.

La cognizione del latino (e fino ad un certo segno del greco) è ancora un bisogno per i cultori delle discipline che più strettamente si collegano alla civiltà antica, ossia i giuristi, i teologi, i filologi e gli storici, ed in generale per tutti coloro, e tra questi devo annoverare anche me, i quali per ragione di studio vogliono attingere alla letteratura latina dei secoli passati (1). Ma che perciò tutti i giovani che aspirano

(1) Non essendo un giurista non avrei osato affermare

agli studi superiori debbano in modo così sproporzionato attendere al latino ed al greco, e che per conseguenza i futuri medici, matematici o naturalisti debbano arrivare all'Università con una cultura preparatoria così scarsa, anzi affatto negativa, e che essi non possano provenire se non da quelle scuole nelle quali questa necessaria cultura preparatoria non si acquista affatto, queste sono per lo meno conclusioni alquanto singolari.

Venute meno da lungo tempo le condizioni che diedero tanta importanza agli studi classici, tuttavia si mantenne, e non è meraviglia, fino ai nostri giorni il sistema di istruzione divenuto tradizionale. E non pochi effetti buoni o cattivi di tale sistema, ai quali quando esso fu istituito nessuno aveva pensato, si resero manifesti e furono osservati; cosa anche questa affatto naturale. E così quelli che alla conservazione dell'istruzione classica erano fortemente interessati, o perchè non ne conoscevano altra, o perchè di essa vivevano, o per qualche altra ragione, era naturale che esaltassero i vantaggi di essa. E li esaltarono tanto da far credere che tali effetti fossero stati preveduti, e che non ci fosse altra via per conseguirli.

Un vero vantaggio potrebbero avere i giovani dalla cultura filologica ben diretta, se questa aprisse loro le copiose fonti delle antiche letterature, e facesse loro

che lo studio del greco sia inutile ai giuristi, ma nella discussione che seguì a questo discorso fu da persone competenti affermata la sua inutilità. Per conseguenza, a chi vuol dedicarsi allo studio delle leggi basterebbe la cultura preparatoria che si ha nelle *Realschulen* tedesche, ma questa cultura sarebbe insufficiente ai futuri teologi e filologi.

conoscere il mondo intellettuale di due grandi popoli. Chi ha letto e compreso gli autori latini e greci ha certamente vissuto idealmente più di colui di cui la vita intellettuale è limitata al presente. Egli vede come gli uomini in condizioni diverse giudicassero delle stesse cose in modo affatto diverso dal nostro; egli stesso acquisterà maggiore libertà di giudizio. Gli autori greci e latini sono davvero una copiosa sorgente che ci procura un grande godimento intellettuale e ci ricrea dal lavoro quotidiano; non soltanto l'individuo, ma tutta l'Europa civile serberà loro imperitura gratitudine. Chi non ricorda con diletto le peregrinazioni di Ulisse e gli ingenui racconti di Erodoto? A chi rincrescerà di aver letto i dialoghi di Platone e di aver gustato il divino umorismo di Luciano? A chi non piacerà penetrare nella vita privata degli antichi per mezzo delle lettere di Cicerone e delle commedie di Plauto e di Terenzio? Chi non ricorderà le vive pitture di Svetonio? E chi vorrebbe far getto di una parte di sapere, una volta che l'ha acquistato?

Ma chi non attinge che a queste fonti, chi non conosce altro sapere che questo, non ha alcun diritto di sentenziare sul valore di un sapere di altro genere. Come campo di studi individuali le letterature classiche sono cosa nobilissima, ma che esse debbano costituire quasi l'unico elemento dell'istruzione della gioventù, è questa un'altra questione.

Non ci sono forse altri popoli, altre letterature donde noi si abbia qualche cosa da imparare? E la natura non è ella stessa la suprema nostra maestra? Dovranno dunque i Greci, coi loro angusti concetti che non trascendono l'ambito della loro città, colla loro divisione dell'umanità in “ Greci e Barbari ”, colle loro superstizioni, col loro eterno consultar gli oracoli, dovranno essere per sempre i nostri sommi modelli? Aristotele,

colla sua inettitudine ad imparare dai fatti, colla sua scienza parolaia, Platone, coi faticosi avvolgimenti dei suoi dialoghi, colla sua sterile e spesso puerile dialettica, saranno maestri insuperabili? (1).

I Romani, col barbaglio e colla pompa sonora della loro esteriorità, colla loro aridità di sentimento, colla loro filosofia di seconda mano, colla loro sfrenata sensualità, colla loro crudele passione per le stragi di bestie e di uomini, col loro spietato dissanguamento dei popoli, sono forse modelli da imitare? O dovremo fondare la nostra storia naturale sull'autorità di Plinio, che si fonda su quella delle levatrici, e si pone egli stesso al loro livello intellettuale?

E posto pure che realmente si ottenesse lo scopo di conoscer bene il mondo antico, potremmo dichiararci soddisfatti dell'istruzione classica? Ma al contrario, vocaboli e forme, forme e vocaboli, sono l'unico e perpetuo alimento della gioventù; e quelle altre discipline che possono trovare un posticino in questo sistema, soggiacciono anch'esse a questo deplorevole metodo: ne risulta una scienza di parole, un infecondo esercizio di memoria.

Davvero che ci pare di tornare indietro di mille

(1) Se in questo luogo io insisto sopra i difetti di Platone e di Aristotele, da me osservati principalmente leggendoli nelle traduzioni, è superfluo che io protesti di non voler per nulla menomare i meriti e l'importanza storica di questi due grandi uomini. Dobbiamo però guardarci dal giudicarne dal fatto che la nostra filosofia speculativa in gran parte è ancora dominata da loro; forse appunto per questa ragione in tanti secoli essa ha fatto così scarsi progressi. Anche le scienze naturali rimasero per secoli asservite all'autorità di Aristotele, e la prima cagione del loro incremento fu l'essersi affrancate da tale servitù.

anni, nella cella di un monaco del Medio Evo! Così non la può più durare! C'è una via più breve per penetrare nel mondo intellettuale dei Greci e dei Romani, preferibile al passare otto o dieci anni declinando, coniugando, analizzando, traducendo a prima vista, fino a logorarsi il cervello. Ci sono anche adesso non poche persone colte le quali, coll'aiuto di buone traduzioni, hanno acquistato dell'antichità classica un concetto più vivace, più chiaro e più comprensivo di quel che ne abbiano i nostri più provetti scolari dei ginnasi (1).

I Greci ed i Romani non sono per il nostro tempo altro che un oggetto dell'archeologia e dell'erudizione storica, nè più nè meno di altri popoli. Se si sapesse farli rivivere dinanzi ai nostri giovani, non in sillabe ed in parole, ma vivi e parlanti, l'effetto sarebbe incancellabile. In ben altro modo gioisce della vita greca chi vi ritorna movendo dai risultati degli studi storici moderni, ben altro effetto produce un capitolo di Erodoto in un lettore versato nelle scienze naturali, e fornito di cognizioni intorno all'età della pietra e delle palafitte. Quello che l'istruzione classica promette alla gioventù, assai meglio si acquisterebbe e più sicuramente mediante una adeguata istruzione storica, la quale non fosse una sterile filza di nomi e di date, di dinastie e di guerre, ma una vera storia della civiltà.

È ancora molto diffusa l'opinione che ogni " cultura

(1) Non voglio con ciò affermare che leggere un autore greco nel testo o in una traduzione sia, quanto all'utilità, la stessa cosa. Ma il vantaggio che indubbiamente si ha nel primo caso, pare a me, e credo anche alla maggior parte di quelli che non sono filologi di professione, non sia tale da compensare gli otto anni che si dedicano agli studi classici.

ideale superiore „ ogni più larga visione intellettuale del mondo, derivi dagli studi classici, e in parte dagli studi storici, e che al contrario la matematica e le scienze fisiche e naturali si abbiano a tenere in qualche pregio per la loro utilità. A questa opinione non posso in alcun modo aderire. Sarebbe strano che l'uomo da pochi cocci antichi, da poche iscrizioni in pietra e da pochi fogli di pergamena, che non sono alla fin fine se non un frammento della natura, potesse imparare di più, attingere maggior nutrimento al suo intelletto che non da tutta la natura. Certamente per l'uomo è l'uomo stesso il più prossimo oggetto di studio, ma non il solo.

Se cessiamo di considerare l'uomo come centro dell'universo, ed immaginiamo la terra come una piccola sfera lanciata intorno al sole e girante intorno ad esso ad immensa distanza, se nelle remotissime stelle fisse vediamo la stessa materia che costituisce il nostro globo, e nell'universa natura vediamo un solo complesso di fenomeni, del quale l'uomo non è che una parte infinitesima e fuggevole, forse non estendiamo così la nostra idea del mondo e non sentiamo nell'anima una sublime poesia? Io credo che ci sia qualche cosa di più grande e di più significante che non nel fremito di Marte ferito, o nelle meraviglie dell'isola di Calipso, o nel fiume Oceano che scorre intorno alla terra. Del relativo valore di questi due dominii dell'intelligenza, di queste due poesie, può solo parlare chi conosce l'una e l'altra.

L'*utilità* delle scienze fisiche e naturali è per così dire un prodotto accessorio del progresso intellettuale donde ha origine. Ma non sarà perciò meno pregiata da chi si compiace di vedere effettuate per opera dell'industria moderna le meraviglie delle fiabe orientali, nè a maggior ragione da chi di queste meraviglie non sa darsi una spiegazione.

E neppure si deve credere che le scienze fisiche non siano utili che per le loro applicazioni industriali. Esse compenetrano in tutte le sue relazioni la nostra vita, i nostri concetti diventano norme universali. Così il giurista, il politico, l'economista, ragionano in modo affatto nuovo se tengono presente alla memoria che una data area della terra più fertile, colla quantità di calore solare che ogni anno assorbisce, non può alimentare che un numero di uomini esattamente determinato, e che nessuna arte, nessuna scienza può accrescere questo numero. E certe teorie economiche che fondandosi sopra concetti chimerici tentano aprire una via nei regni dell'impossibile, si dileguano alla luce di questo concetto.

Molto volentieri i panegiristi degli studi classici esaltano l'educazione del buon gusto che ci deriva dallo studio degli antichi modelli. Confesso schiettamente che l'animo mio si ribella contro tale affermazione. O dunque per educare il gusto dovrà la gioventù sacrificare quasi dieci anni? Il superfluo è anteposto al necessario! O che la generazione ventura, dinanzi ai gravi problemi, dinanzi alla questione sociale, che dovrà affrontare con tutte le forze dell'animo e della ragione, non ha di meglio da fare?

Ma accettiamo pure l'affermazione. C'è forse una ricetta per formare il buon gusto? L'ideale della bellezza non è esso variabile? Non è meravigliosamente assurdo il volersi costringere con un artifizio all'ammirazione di cose, le quali per quanto storicamente interessanti e bellissime se considerate individualmente, sono pure in molte parti estranee a tutto il mondo di pensieri e di sentimenti, posto che ne abbiamo uno? Una vera nazione ha il suo proprio gusto, e non lo

accatta da altri, ed ogni uomo individualmente perfetto ha il suo gusto personale (1).

E come si ottiene tale educazione del gusto? Coll'appropriarsi lo stile personale di alcuni autori! Che diremmo noi di un popolo che di qui a mille anni volesse costringere la sua gioventù ad approfondirsi per molti anni nello stile faticoso od ampolloso di un abile avvocato o deputato dei nostri giorni? Non lo accuseremmo giustamente di mancanza di buon gusto?

Il tristo effetto di questa cosidetta educazione del buon gusto si manifesta abbastanza spesso. Quando un giovane studioso scrivendo un lavoro scientifico si abbandona al lenocinio della retorica avvocatesca, che tiene luogo dei fatti e della schietta esposizione del vero, egli inconsciamente ritorna scolaro, e inconsciamente assume l'abito intellettuale dei Romani, ai quali l'elaborazione di un discorso pareva un lavoro scientifico.

Noi non vogliamo negare che gli studi classici giovino a sviluppare il criterio glottologico e a dare una cognizione più razionale della lingua materna. Studiando una lingua straniera, specialmente se essa è

(1) " Il vezzo di considerare il gusto degli antichi come sublime ed insuperabile — scrive il giudice Hartwich — mi pare che abbia il suo principal fondamento nell'avere gli antichi rappresentato in modo veramente insuperabile il nudo. Coll'assidua cura del corpo umano essi produssero stupendi modelli, e questi modelli avevano sempre dinanzi agli occhi nei ginnasi e nelle feste; nessuna meraviglia, se le loro statue sono ancora oggi ammirate, poichè la forma, l'ideale del corpo umano, nel corso dei secoli non ha subito modificazioni. Ma così non avviene degli ideali dell'intelletto; essi mutano di secolo in secolo, anzi di dieci in dieci anni. È dunque facile com-

molto diversa dalla nostra, noi ci avvezziamo a discernere chiaramente i segni e le forme del linguaggio dalle idee significate. I vocaboli che in due diverse lingue si corrispondono più da presso non coincidono mai esattamente colla stessa idea, ma della cosa stessa indicano per così dire diversi lati, ed a questi appunto lo studio delle lingue rivolge la nostra attenzione. Ma questo non ci dà ancora autorità di affermare che lo studio del latino e del greco sia la via più proficua e più naturale, anzi l'unica via per raggiungere questo fine. Chi si prenda il piacere di sfogliare una grammatica cinese, chi cerchi di rendersi ragione del modo di pensare e di parlare di un popolo che non è progredito fino all'analisi dei suoni semplici, ma si è arrestato all'analisi delle sillabe, di un popolo per il quale la nostra scrittura alfabetica è un grande enigma, e che con poche sillabe varianti di accento e di posizione esprime tutti i suoi copiosi e profondi pensieri, costui acquisterà probabilmente nuove e feconde idee intorno alla relazione tra il linguaggio ed il pensiero. Ma sarà questa una ragione perchè la nostra gioventù debba studiare anche il cinese? No certamente. Ebbene, concedetemi almeno che essa debba essere così sopraccaricata di latino come è al presente.

Tradurre nella nostra lingua colla massima fedeltà ed eleganza un pensiero concepito in latino, è senza dubbio un lavoro di arte assai geniale, almeno per il traduttore. Noi vogliamo anzi professare al traduttore la nostra gratitudine; ma pretendere da ogni persona

---

prendere che le opere della scultura, come quelle che più colpivano il senso della vista, dovettero inconsciamente essere assunte a norma generale del giudizio rispetto alla squisitezza del gusto degli antichi; conclusione fallace, che secondo me è da evitarsi con ogni studio.

istruita questo esercizio, senza guardare al dispendio di tempo e di fatica, ci pare irragionevole. E gli stessi docenti sono costretti a riconoscere che questo fine non si raggiunge che in parte, e soltanto da scolari diligenti e dotati di attitudini speciali. Adunque, senza voler mettere in discussione l'utilità delle lingue antiche come oggetto di studio speciale, crediamo tuttavia che quel criterio glottologico che è necessario alla cultura generale, si possa e si debba acquistare per altra via. Dovremmo forse dirci perduti, se i Greci non fossero mai stati nel mondo?

Noi dobbiamo anzi spingere le nostre esigenze alquanto più in là che non facciano i campioni degli studi classici; noi dobbiamo esprimere il desiderio che dell'essenza e del valore del linguaggio, della formazione di esso, della variazione di significato delle radici, della transizione dalle forme fisse alle forme grammaticali, in una parola di tutti i luminosi risultati della moderna filologia comparata, ogni persona che voglia dirsi istruita abbia un concetto corrispondente all'odierno stato della scienza. Io son d'opinione che lo scopo anzidetto si potrebbe raggiungere mediante lo studio della lingua materna, e poi delle lingue ad essa affini, e in ultimo delle lingue più antiche, dalle quali esse derivano. E se alcuno mi opporrà che questo metodo è troppo difficile e porta troppo lontano, io gli consiglierò di confrontare alcune linee del testo tedesco della Bibbia colle corrispondenti del testo olandese, svedese e danese; egli si meraviglierà della gran copia di raffronti. Di più, io penso che solo per questa via lo studio delle lingue può divenire progressivo, fecondo, razionale ed istruttivo. Forse più d'uno dei miei uditori, ritornando colla memoria alla sua gioventù, ricorderà quanta luce e quanto calore vitale, quasi raggio di sole in una giornata nuvolosa, gli ve-

nisse dalle sobrie e fuggevoli osservazioni di filologia comparata colle quali il Curtius nella sua grammatica greca rischiara l'uggioso deserto delle quisquilie morfologiche.

Per evitare ogni possibile malinteso, devo dichiarare ancora una volta che le mie osservazioni non sono rivolte contro l'indagine filologica, ma contro i metodi dell'insegnamento classico. L'interpretazione della iscrizione geroglifica di Rosetta o della iscrizione cuneiforme di Behistun è per me una conquista dell'intelligenza non meno importante di qualsiasi scoperta nel campo delle scienze fisiche e naturali. Ed è pur vero che siffatti risultati si debbono principalmente a quella disciplina della mente che si ottiene mediante la filologia classica; nè è da far piccolo conto di un altro utile prodotto di tali studi, cioè dell'arte di decifrare, di leggere tra le righe, di far congetture fondate sopra lievi indizi dello stato psicologico dello scrittore (1).

Il principale vantaggio che coi metodi odierni realmente si ricavi dallo studio delle lingue antiche, dipende dall'esercitarsi della mente intorno alla loro difficile grammatica. Vogliamo accennare all'acuirsi dell'attenzione, all'esercizio del giudizio nel riferire casi speciali a regole generali, nel rilevare le differenze tra casi diversi. Ma è superfluo osservare che il medesimo risultato si potrebbe ottenere per molte altre vie, ad esempio mediante qualche complicato giuoco di carte. Ogni scienza, e non meno delle altre le scienze matematiche, fisiche e naturali, quanto all'esercizio del giudizio dà uguali se non maggiori frutti. A ciò si aggiunga che la materia di tali scienze ha per i giovani un interesse molto maggiore, il che è già una forte attrattiva per la loro attenzione; inoltre da queste

(1) Aggiunte nel 1895.

scienze deriva una utilità intellettuale e pratica in molti altri campi nei quali la grammatica non giova a nulla. Se *homo* al genitivo plurale facesse *hominorum* invece che *hominum*, ne importerebbe forse qualche cosa a chi non sia un glottologo? E chi vorrà mettere in dubbio che alla ricerca della causalità il nostro intelletto è avviato non dalla grammatica, ma dalle scienze fisiche e naturali?

Adunque non vogliamo negare che anche lo studio del latino e del greco giovi ad affinare il giudizio. E poichè lo studio delle parole contribuisce alla chiarezza ed all'esattezza dell'espressione, e d'altra parte il latino ed il greco non sono ancora divenuti superflui per certi studi speciali, consentiamo volentieri a lasciar loro un posto nella scuola, ma vorremmo che il tempo sproporzionato che si dedica ad essi nelle nostre scuole, tempo ingiustamente sottratto ad altri studi più utili, fosse una buona volta ridotto in limiti più ragionevoli. Che poi il latino ed il greco, come elementi della cultura generale, non possano più mantenersi a lungo, questa è nostra ferma persuasione; essi dovranno cercar ricovero tra gli eruditi, tra i filologi di professione, e cedere poco a poco il campo alle lingue moderne ed alla moderna scienza del linguaggio.

Il concetto esagerato che alcuni si fanno dell'intimo nesso tra il pensiero e la parola, tra la logica e la grammatica, fu già da Locke ridotto alle sue vere proporzioni, e l'opinione di lui fu afforzata di nuovi argomenti dalla scienza moderna. Una grammatica complicata ha ben poco a che fare coll'acutezza del pensiero; gli Italiani ed i Francesi, benchè le loro lingue si siano quasi interamente spogliate del lusso grammaticale dei Romani, quanto ad acume di pensiero non sono certamente inferiori a questi, e nessuno vorrà negare che

la loro letteratura poetica, e specialmente la letteratura scientifica, possa stare al paragone della romana.

Se prendiamo in esame ancora una volta gli argomenti addotti a favore degli studi classici, dobbiamo affermare che la maggior parte di essi non ha più valore. I fini che tali studi potevano proporsi, posto pure che non siano da trascurare al nostro tempo, ci sembrano troppo meschini ed angusti, e lo stesso difetto vediamo nei mezzi che si pongono in opera per raggiungerli. L'unico risultato indiscutibile di questo sistema di studi è forse l'attitudine ad esprimere con accorgimento ed esattezza il proprio pensiero. A voler esser maligni, potremmo dire che le nostre scuole classiche educano uomini abili a parlare ed a scrivere, ma che pur troppo hanno ben poche idee da significare. Quanto alla libera e vasta visione intellettuale, alla tanto decantata cultura generale che dovrebbero essere l'effetto degli studi classici, ne sia permesso di non prenderla sul serio. Molto maggiori ragioni avremmo per considerare l'istruzione classica come angusta ed unilaterale.

Discorrendo dell'istruzione filologica abbiamo già accennato di passata alla matematica ed alle scienze fisiche e naturali. Poniamo ora la questione, se queste scienze, come elemento della cultura comune, non possano dare risultati non conseguibili per altra via. Io credo che nessuno vorrà contraddirmi se io affermo che l'uomo al quale manchi ogni rudimento della matematica e delle scienze fisiche e naturali, è straniero al mondo nel quale vive ed alla civiltà del suo tempo.

Ciò che egli vede nella natura e nell'industria, o non gli dice nulla affatto, perchè egli non ha occhi nè orecchi da ciò, o gli parla un linguaggio incomprensibile.

Ma la cognizione reale del mondo e della civiltà non è l'unico risultato dello studio delle scienze matematiche, fisiche e naturali. Molto maggiore importanza, nel sistema degli studi preparatori, ha per noi l'educazione formale che da queste scienze deriva, il rinvigorirsi del raziocinio e del giudizio, l'esercizio dell'immaginazione scientifica. La matematica, la fisica, le cosidette scienze naturali descrittive, sotto questo riguardo hanno tra loro tanta analogia, che nel nostro ragionamento, astraendo dai loro fini particolari, non possiamo disgiungere le une dalle altre. La conseguenza logica e la continuità delle idee, così necessarie all'attività feconda del pensiero, sono il precipuo vantaggio della matematica: così pure l'attitudine a seguire i fatti col pensiero, ossia osservare e ad accumulare esperienze, ci viene principalmente dalle scienze fisiche e naturali. Ma quando noi osserviamo che tra gli angoli ed i lati di un triangolo c'è un certo rapporto di reciproca dipendenza, o in un triangolo isoscele rileviamo certe proprietà simmetriche, o quando osserviamo la declinazione dell'ago magnetico o lo sciogliersi dello zinco nell'acido solforico diluito, oppure notiamo che le ali delle farfalle diurne nella pagina inferiore, e le ali delle farfalle notturne nella pagina superiore hanno un colore appariscente, in tutti questi casi partiamo da osservazioni e da cognizioni intuitive. Il campo delle osservazioni è alquanto più angusto e più ovvio nella matematica, alquanto più ampio e variato, ma di più difficile comprensione, nelle scienze fisiche e naturali. Tuttavia in tutte queste scienze noi dobbiamo innanzi tutto addestrarci all'osservazione. La

questione filosofica, se le cognizioni intuitive della matematica siano di natura speciale, non ha più importanza per noi. Certamente l'osservazione può esercitarsi anche nello studio del linguaggio; ma nessuno vorrà porre in dubbio che le immagini vive e concrete che si presentano alla nostra mente nelle scienze sopra accennate, non abbiano per l'intelletto giovanile maggiore attrattiva che non le astratte larve degli studi glottologici, alle quali certamente l'attenzione si rivolge con minore spontaneità e perciò con minore vantaggio (1).

Quando mediante l'osservazione abbiamo percepito le diverse proprietà di una figura geometrica o di un fatto fisico, in molti casi osserviamo la reciproca dipendenza di tali proprietà. Tale reciproca dipendenza (sia essa l'uguaglianza degli angoli formati da lati uguali colla base del triangolo, o la relazione tra la pressione ed il movimento) in nessuna scienza è così evidente, così necessaria e così costante come nelle scienze sopra citate. Di qui la continuità delle idee e la conseguenza logica che si acquistano occupandosi di tali studi. La relativa semplicità e perspicuità delle relazioni fisiche e geometriche produce effetti utilissimi; ma tale semplicità di relazioni invano si cercherebbe negli studi ai quali apre l'adito l'istruzione filologica. E forse taluno avrà notato con meraviglia come i concetti di causa e di effetto e la loro relazione siano tenuti in poca considerazione dai cultori e difensori degli studi filologici. Forse ciò si spiega osservando che la relazione tra il motivo e l'azione, a loro più famigliare negli studi a cui attendono, è ben lungi

(1) Cfr. l'ottimo studio di HERZEN, *De l'enseignement secondaire dans la Suisse romande*, Losanna 1886.

dall'avere quella semplicità e precisione intuitiva che è propria della relazione tra causa ed effetto.

La compiuta visione intellettuale di tutti i possibili casi, e come risultati di questa l'ordinamento economico ed il nesso organico delle idee divengono per chi ne ha fatto esperimento una vera e perpetua necessità, che si impone in ogni nuovo studio; ma tutti questi abiti intellettuali non si acquistano e non si perfezionano che mediante la relativa semplicità delle scienze matematiche e fisiche.

Quando una serie di fatti ci sembra contraddire ad un'altra, e da questa contraddizione sorge un problema, la soluzione consiste di solito in una più sottile distinzione, in una più compiuta visione del fatto; potremmo recare ad esempio la soluzione che Newton diede del problema della dispersione. Quando si dimostra o si spiega un nuovo fatto matematico o fisico, non si fa altro che riconoscere la connessione esistente tra queste ed un altro fatto già noto. Ad esempio si dimostra che il raggio del circolo può essere iscritto sei volte nella circonferenza, scomponendo in sei triangoli equilateri ed uguali l'esagono regolare iscritto nel circolo; così se diciamo che la quantità di calore sviluppata in un secondo nel circuito di una corrente elettrica si quadruplica quando si raddoppi l'intensità della corrente, dimostriamo la nostra affermazione mediante il raddoppiamento del caso potenziale e della quantità di calore in dipendenza della raddoppiata intensità della corrente, in una parola mediante il quadruplicamento del lavoro così prodotto. Tra la spiegazione e la dimostrazione diretta non vi è differenza essenziale.

Chi risolve scientificamente un problema geometrico, fisico o tecnico, osserva facilmente che il suo procedere è una investigazione intellettuale metodica, resa

possibile dall'ordinamento economico della materia a cui il problema appartiene, una investigazione semplificata e con fine preciso, opposta all'empirismo irrazionale ed antiscientifico. Così il geometra che ha da costruire un circolo tangente a due date linee rette, scorge le relazioni di simmetria della figura da costruire e cerca il centro di essa sulla linea simmetrica alle due rette; chi deve costruire un triangolo del quale sono dati due angoli e la somma dei lati, vedendo nella sua mente la determinatezza della forma di questo triangolo restringe le sue ricerche ad un dato gruppo di triangoli della medesima forma. Perciò in condizioni diversissime l'uomo sente la semplicità e l'adattabilità di ciò che costituisce la materia delle scienze matematiche e fisiche, il che promuove l'esercizio intellettuale e la fiducia della ragione in sè stessa.

Senza dubbio l'istruzione scientifica potrebbe dare risultati molto migliori dei presenti, se fosse impartita con metodi alquanto più semplici. L'ingegno dei giovani non deve essere guastato dalla prematura astrazione; essi dovrebbero acquistare una cognizione intuitiva della materia scientifica, prima di studiarla con metodi puramente razionali. Così ad esempio mediante il disegno geometrico e la costruzione di modelli essi potrebbero acquistare un utile corredo di esperienza geometrica. In luogo dello sterile metodo di Euclide, adatto soltanto ad un fine limitato, si dovrebbe introdurre, come vorrebbe Hankel (1), un metodo più libero e più cosciente. Se poi, ripetendo la materia della geometria quando essa non presenta più alcuna difficoltà sostanziale, si metteranno in luce i fondamenti generali di essa ed i principii del metodo scien-

(1) *Storia della matematica*, Lipsia 1874.

tifico, come in modo eccellente hanno fatto v. Nagel (1), J. K. Becker (2), Mann (3) ed altri, si raggiungeranno certamente ottimi risultati. Così pure la materia delle scienze fisiche e naturali vorrei che prima si rendesse familiare per via di osservazioni dirette e di esperimenti, e di qui si passasse ad una cognizione più profonda e razionale. Anche in queste scienze, i principii e concetti generali dovrebbero venire in ultimo luogo.

In una adunanza come questa è superfluo che io mi dilunghi a dimostrare che alla matematica ed alle scienze naturali spetta di pien diritto un posto nella coltura generale; gli stessi filologi, benchè un po' a malincuore, cominciano a riconoscerlo. Qui io posso fare assegnamento sopra un consenso unanime affermando che la matematica e le scienze, come elementi di istruzione, costituiscono da sole una educazione intellettuale materialmente e formalmente più feconda e più conforme al nostro tempo, che non da soli gli studi filologici.

Ma come potrà questa idea essere messa in atto nei programmi delle nostre scuole intermedie? A me pare che in Germania la *Realschule* ed il *Realgymnasium*, istituti nei quali l'istruzione filologica non è omessa, diano all'uomo di media condizione una cultura più praticamente utile che non il *Gymnasium* (4), benchè non siano ritenuti come scuole preparatorie sufficienti per i futuri teologi e filologi. Il ginnasio tedesco è

---

(1) *Analisi geometrica*, Ulma 1886.

(2) *Opere elementari di matematica.*

(3) *Memorie varie di matematica*, Würzburg 1883.

(4) La *Realschule* ed il *Realgymnasium* sono istituti somiglianti alle nostre scuole tecniche. Nel *Realgymnasium* si insegna il latino, ma non il greco. (N. d. T.).

troppo unilaterale; la riforma dovrebbe cominciare da esso. Mi si conceda di fare sopra questo argomento alcune osservazioni, che terranno luogo di un ragionamento più esteso. Io penso che una sola scuola preparatoria bene ordinata potrebbe sopperire a tutte le esigenze.

Vorremo noi riempire le ore di insegnamento che nei ginnasi sono a nostra disposizione e che dobbiamo quasi strappare all'imperante classicismo, colla maggior mole e varietà possibile di materia scientifica e matematica? Non aspettate da me una simile proposta, che non dovrebbe avere l'appoggio di alcuno che si sia occupato di studi scientifici. Le idee nascono e maturano nella nostra mente come i frutti della terra mercè il sole e la pioggia. Ma non c'è cumulo di materie e di ore di scuola, nè prodigioso specifico che possa suscitare o raffazzonare il pensiero; esso vuole svilupparsi liberamente. Così pure non è possibile accumulare idee in un cervello oltre un certo limite, come non si può aumentare all'infinito il prodotto di un campo.

È mia opinione che la somma di cognizioni necessarie a tutti i discepoli di una sola scuola preparatoria, non sia gran cosa. Se avessi l'autorità da ciò, con piena tranquillità di coscienza e persuaso di operare per il comune vantaggio, comincerei col ridurre di molto nelle classi inferiori i programmi, sia degli studi storico-filologici che degli studi scientifici; diminuirei le ore di studio fuori della scuola. Io non sono tra quegli insegnanti ai quali sembra che dieci ore quotidiane di lavoro per un fanciullo non siano soverchie; io penso che gli uomini maturi i quali con tanta calma pronunciano tale sentenza non reggerebbero essi stessi all'applicazione così continuata della loro attenzione ad uno studio per essi nuovo, ad esempio

agli elementi della fisica o della matematica, o non ne trarrebbero alcun vantaggio; chi non mi crede, ne faccia la prova. L'imparare, come l'insegnare, non è lavoro da scriba, al quale si possa resistere lungo tempo, una volta acquistata la necessaria praticaccia. Ed anche siffatto lavoro finisce collo stancare. Se non volete che il giovine arrivi alle scuole superiori esausto ed istupidito, fate che nelle scuole preparatorie egli non disperda quella vitalità che ivi appunto dovrebbe acquistare; vedrete tosto il grande mutamento. Prescindendo anche dalle funeste conseguenze fisiche di siffatto sopraccarico, le conseguenze intellettuali mi sembrano già per sè stesse abbastanza terribili.

Non conosco nulla di più miserevole di un disgraziato che ha imparate troppe cose. In lui nessuna traccia di quel sano e vigoroso giudizio che forse in lui si sarebbe sviluppato se non gli avessero insegnato nulla; il suo pensiero, quasi ipnotizzato, si trascina faticosamente dietro a certe parole, a certe massime ed a certe formole, sempre sulla stessa carreggiata. Ciò che egli ha nella testa è una ragnatela di pensieri, troppo debole per appoggiarvisi sopra, ma abbastanza intricata per impigliarvisi dentro.

Ma come si potrà ottenere una migliore istruzione matematica e scientifica diminuendo la materia? Io credo che a ciò si possa pervenire abbandonando l'insegnamento sistematico, almeno finchè la scuola è comune a tutti i discepoli destinati a diversi studi. Non mi pare necessario che dalle scuole mediane abbiano ad uscire dei piccoli filologi, ma neppure che ne escano dei piccoli matematici, fisici o botanici; anzi questo mi pare un fine impossibile a raggiungere. E mi pare che il principale difetto dei nostri ordinamenti scolastici sia appunto il proporsi questo fine, per il che ciascun insegnante è tratto a desiderare per la sua ma-

teria una condizione eccezionale rispetto alle altre. Io sarei contento se ogni scolaro avesse in certo modo fatto da sè qualche piccola scoperta nel campo della matematica e delle scienze fisiche e naturali, e ne sapesse trarre tutte le conseguenze anche più remote. Ottimo e razionale complemento di questa istruzione sarebbe la lettura di luoghi scelti dei grandi classici della scienza (1). Le poche, ma chiare e vigorose idee così acquistate si imprimerebbero nel cervello, sarebbero da questo compiutamente elaborate, ed avremmo dalla nostra gioventù uno spettacolo ben diverso da quello di oggidì.

Che vantaggio c'è, ad esempio, nell'opprimere il cervello giovanile con tutte le minuzie della botanica? Chi ha erborizzato una volta sotto la direzione del maestro, vedrà dappertutto forme note od ignote, ma non indifferenti, dalle quali è stimolato all'osservazione; egli avrà fatto un acquisto durevole. Qui esprimo non la mia opinione personale, ma quella di un insegnante amico mio, molto competente in materia. Inoltre, non è necessario che tutto ciò che s'insegna nella scuola sia da tutti imparato. Il meglio di ciò che sappiamo, ciò che ci è rimasto per la vita, non l'abbiamo mai portato all'esame. Come può prosperare l'intelligenza, se si accumula materia sopra materia, e prima che una parte di essa sia digerita, ve ne sovrapponiamo una nuova? Non si deve mirare ad accumulare cognizioni positive, ma piuttosto ad esercitare l'intelligenza. Inoltre non mi pare necessario che in tutte le scuole si inse-

---

(1) La mia idea sarebbe una opportuna collezione di letture tolte dalle opere di Galileo, di Huygens, di Newton, ecc. La scelta non presenterebbe gravi difficoltà. Il contenuto di esse dovrebbe essere spiegato nella scuola per mezzo di esperimenti.

gnino le stesse cose. Un programma di cognizioni filologiche, o storiche, o matematiche, o scientifiche, comune ad una intiera scolaresca, contiene da solo quanto è necessario allo sviluppo dell'intelligenza. Ma d'altra parte una maggiore varietà di cognizioni positive produrrebbe un utilissimo stimolo reciproco. L'uniformità è una gran bella cosa per i militari, ma non si attaglia ai cervelli. Carlo V ne ha fatta la prova, e non dovremmo dimenticarcene. Maestri e scolari debbono avere un'ampia libertà di movimento individuale, se vogliamo cavarne qualche cosa di buono.

Io sono d'opinione, con G. C. Becker, che di ogni materia si dovrebbe esattamente determinare l'utilità che essa promette a chi la studia, e la quantità di essa che a ciascuno è necessaria. Per tutto ciò che esce da questi limiti, dovrebbe esserci un bando inesorabile, almeno dalle classi inferiori. Per quel che riguarda la matematica, la questione mi pare che sia stata risolta da Becker (1).

Altre esigenze hanno le classi superiori. Anche qui la materia comune a tutti i discepoli non deve oltrepassare certi limiti. Ma se si considera quante siano le cognizioni oggidì necessarie ad un giovine, a qualunque studio egli voglia dedicarsi, non parrà più conveniente che si consumino tanti anni in una istruzione puramente preparatoria. Le classi superiori devono dare una vera ed utile preparazione agli studi speciali, e non vogliono essere ordinate ad esclusivo vantaggio dei futuri giuristi, filologi o teologi. Ma va da sè che sarebbe assurdo ed impossibile preparare nello stesso tempo il medesimo uomo agli studi speciali più dispa-

(1) *La matematica come materia d'insegnamento nella scuola classica*, Berlino 1883.

rati. Se così fosse, la scuola non potrebbe dare altro risultato, come già temeva Lichtenberg, fuorchè una selezione degli individui più adatti a questa specie di addestramento, e verrebbero così esclusi dalla gara i migliori ingegni speciali, quelli appunto che più si ribellano all'addestramento, qualunque esso sia. Perciò si dovrebbe introdurre nelle classi superiori una certa libertà di elezione, mediante la quale chi ha già acquistato una chiara coscienza della propria vocazione, possa dedicarsi di preferenza agli studi filologici e storici, oppure agli studi matematici e scientifici. Sotto queste condizioni si possono mantenere i presenti programmi, ed in certi casi anche accrescerli se parrà opportuno (1) senza che ciò opprima con troppe materie gli scolari o renda necessario l'aumento delle ore di scuola. Reso più omogeneo il lavoro, crescerà la produttività intellettuale dello scolaro, perchè una parte del lavoro, anzichè di impedimento, sarà di aiuto all'altra. Se poi un giovine più tardi si accorgerà di avere sbagliato vocazione, penserà lui a rimediare alla deficienza della sua istruzione. La società non ne avrà alcun danno, nè sarà grande sventura se verranno fuori filologi o giuristi con una discreta cultura matematica, o scienziati non privi di cultura filologica (2).

---

(1) Come sarebbe inopportuno che i futuri medici e naturalisti, per fare il vantaggio dei teologi e dei filologi, fossero sopraccaricati del greco, nello stesso modo sarebbe assurdo imporre a questi lo studio della geometria analitica. Del resto io credo che della geometria analitica anche il medico possa farne a meno. Gli studenti di medicina che provengono dalle scuole classiche austriache, nelle quali si insegna questa materia, non sembrano essere migliori degli altri.

(2) Il direttore D[r] Krumme di Braunschweig mi fa osservare che il principio di una ragionevole libertà di studi è già messo in pratica nelle scuole danesi corrispon-

È già molto diffusa l'opinione, che l'istruzione classica già da tempo non corrisponda più alle esigenze dell'universale, e che ci sia un sistema di istruzione più moderna e più generale. Ma la " cultura generale „ è una denominazione di cui si fa grande abuso. Una cultura generale vera e propria è cosa certamente rarissima. La scuola non raggiunge questo ideale; il meglio che essa possa fare è suscitare nell'animo del giovine l'avidità di questa cultura generale; il suo ufficio si riduce dunque a procurare secondo le proprie forze una più o meno generale cultura. Ma della vera cultura generale sarebbe assai difficile dare una definizione universalmente soddisfacente per il nostro tempo, ed anche più difficile una definizione che possa parer buona di qui a cent'anni. L'ideale della cultura è troppo variabile. Ad uno sembra che la cognizione dell'antichità classica valga anche " una morte prematura „. Noi non ci opponiamo a che quelli che la pensano così proseguano il loro ideale come meglio lor piace; ma protestiamo vigorosamente contro chi questo ideale di cultura vorrebbe mettere in atto nella nostra gioventù. Un altro, Platone ad esempio, dice che l'uomo ignorante della geometria è uguale al bruto (1). Se quelli che dànno giudizi così recisi avessero il potere di Circe, più d'uno che forse non in tutto a torto si crede un uomo istruito, vedrebbe avvenire in sè stesso una poco piacevole trasformazione. Cerchiamo adunque coi nostri

---

denti al *Gymnasium* germanico, e con eccellente risultato. Il corso classico danese è di sei anni, e negli ultimi due gli scolari possono attendere, secondo le loro preferenze, più agli studi storico-letterari, od agli studi scientifici. Gli ordinamenti scolastici norvegesi sono alquanto più complicati, ma nella sostanza concordano coi danesi.

(1) Cfr. CANTOR, *Storia delle matematiche*, Lipsia 1880, Berlino 1883.

sistemi didattici di soddisfare le esigenze del presente, e non lasciamo all'avvenire una eredità di pregiudizi!

Ma come avviene dunque, dobbiamo qui domandarci, che una istituzione così dissonante dal nostro tempo, come è la nostra istruzione classica, si sia potuto mantenere così a lungo, a dispetto della pubblica opinione? Non è difficile la risposta. Le scuole erano un tempo in mano della Chiesa; dopo la Riforma divennero una impresa dello Stato. Siffatte grandiose imprese non mancano di vantaggio. L'istruzione può disporre di mezzi che nessuna impresa privata (almeno in Europa) le potrebbe dare. Si può lavorare in molte scuole secondo un unico disegno, ed istituire un esperimento in vaste proporzioni, cosa che altrimenti sarebbe impossibile. In tali condizioni un uomo che a grandi idee congiunga grande autorità, può far cose meravigliose ad incremento dell'istruzione.

Ma la medaglia ha il suo rovescio. Il partito che ha in mano il potere lavora nel proprio interesse e fa servire la scuola ai propi fini. È esclusa ogni concorrenza, anzi ogni tentativo di miglioramento cade nel vuoto, se non sia intrapreso od almeno tollerato dallo Stato. Se c'è un pregiudizio dominante, l'istruzione pubblica lo perpetua, e le più alte intelligenze e le più forti volontà sono impotenti ad abbatterlo d'un tratto. Anzi, poichè tutto si informa di questo spirito, un mutamento repentino sarebbe affatto impossibile. E le due classi che quasi da sole governano lo Stato, i giuristi ed i teologi, sono quelli appunto che non hanno altra cultura fuorchè la prevalente ed unilaterale cultura classica, da loro acquistata nelle scuole pubbliche, e non vogliono che si tenga in considerazione altra cul-

tura che questa. Altri per naturale credulità accettano questa opinione; altri poi, rinunciando a contar per qualche cosa nella società, si inchinano all'opinione dominante. Ed altri ancora preferiscono aderire all'opinione della classe dominante, per godere come di un riflesso della considerazione in cui questa è tenuta, e ciò fanno anche contro la propria opinione personale. Simile impressione mi ha fatto, lo confesso apertamente, il contegno dei medici tedeschi ogni volta che venne in discussione la validità dei titoli degli studenti usciti dalle *Realschulen*. Dobbiamo inoltre tener presente che un uomo di stato autorevole, anche dentro ai limiti che gli segnano le leggi e la pubblica opinione, può fare molto male all'istruzione, quando egli ritenga come infallibili le proprie idee unilaterali, e sia impaziente nel metterle in atto ad ogni costo; questo inconveniente non solo può accadere, ma è purtroppo accaduto più di una volta. In questo caso il monopolio che lo Stato fa dell'istruzione ci apparirà sotto un aspetto affatto diverso (1). Perciò noi non dubitiamo menomamente che le scuole classiche come oggi sono ordinate in Germania ed altrove, da lungo tempo non esisterebbero più, se lo Stato non le avesse conservate.

È tempo che le cose vadano altrimenti. Ma esse non muteranno da sè nè senza la nostra opera forte e risoluta; in ogni modo muteranno lentamente. Ma la la via è tracciata. La rappresentanza nazionale deve conquistare un potere più esteso in materia di legislazione scolastica. E le questioni scolastiche debbono essere liberamente discusse e spiegate in pubblico, affinchè nell'opinione pubblica si faccia la luce. Tutti coloro che riconoscono l'insufficienza degli attuali ordinamenti, debbono formare una gran lega, affinchè il

(1) Cfr. Paulsen, Op. cit., pagg. 607-688.

loro pensiero acquisti la necessaria potenza, e la voce dei pochi non si perda nel deserto.

Signori! Or non è molto leggevo in un bel libro di viaggi che i Cinesi malvolentieri si occupano di politica. I discorsi su questo argomento sono per lo più interrotti con questa osservazione: " Di queste cose hanno ad occuparsi coloro a cui spetta, e che sono pagati per ciò. Ora a me pare che non sia soltanto un grave interesse pubblico, ma un gravissimo interesse privato di ciascuno di noi, l'occuparci dell'istruzione che a nostre spese si dà nelle pubbliche scuole ai nostri figli.